

**PENURUNAN DERAJAT TOKSISITAS KADMIUM TERHADAP
IKAN BANDENG (*Chanos chanos* Forskal) MENGGUNAKAN
ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)
DAN FENOMENA TRANSPORTNYA**

T E S I S



Oleh :

Nur Kusuma Dewi

L4K002017

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2004**

UPT-PUSTAK-UNDIP

TESIS

PENURUNAN DERAJAT TOKSISITAS KADMIUM TERHADAP IKAN BANDENG (*Chanos chanos* Forskal) MENGGUNAKAN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) DAN FENOMENA TRANSPORTNYA

Disusun oleh

Nama : Nur Kusuma Dewi
NIM : L4K002017
Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan
Konsentrasi : Rekayasa Lingkungan

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal 15 Juni 2004
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

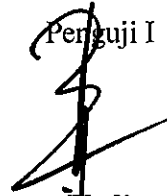
Menyetujui,

Penguji II



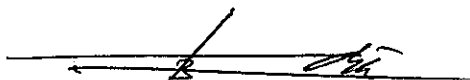
DR. Tonny Bachtiar, M.Sc

Penguji I



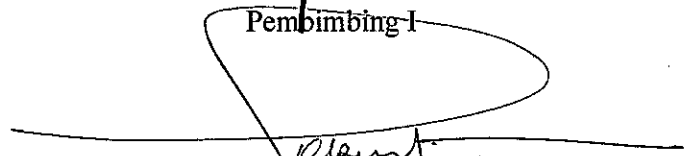
Ir. Agus Hadiyanto, MT

Pembimbing II



Ir. Syafrudin CES, MT

Pembimbing I



DR. Ir. Purwanto, Dpl, DEA

Mengetahui,
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan



Prof. DR. Supharto P. Hadi, MES
NIP. 130 810 134

BIODATA PENULIS



Nur Kusuma Dewi, lahir di Kulon Progo, Yogyakarta, pada tanggal 10 April 1960. Pendidikan Dasar dilaluinya di SD Negeri Panjatan III dan lulus sebagai lulusan terbaik. Kemudian melanjutkan ke SMP Negeri Panjatan, dan tercatat sebagai siswa teladan se Kabupaten Kulon Progo. Pendidikan Menengah Atas di tempuh di SMA Negeri 1 Wates. Tahun 1979 menempuh pendidikan S-1 di IKIP Negeri Semarang, dan tercatat sebagai mahasiswa teladan sehingga mendapatkan beasiswa Bakat dan Prestasi (P3T). Lulus sebagai Sarjana Pendidikan bulan Desember 1983, kemudian 1 Maret 1984 diangkat menjadi Pegawai Negeri Sipil (PNS) di Perguruan Tinggi yang sama, menjadi Tenaga Edukatif di FPMIPA, Jurusan Biologi IKIP Negeri Semarang, (sekarang Universitas Negeri Semarang (UNNES). Di Jurusan Biologi sebagai dosen tetap dengan mata kuliah pokok Ekologi.

Tahun 2002 menempuh Pendidikan Pasca Sarjana di Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro, sebagai mahasiswa penerima BPPS. Menyusun Tesis dengan judul : **“Penurunan Derajat Toksisitas Kadmium Terhadap Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forskal) Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms) dan Fenomena Transportnya.”**, sebagai sumbangan pemikiran terhadap pengelolaan lingkungan perairan.

Menikah dengan Drs H. Noor Achmad MA dan dikaruniai lima putra- putri buah hati tersayang; Selvi Mella Maharani, Seira Adilati, Silka Roudlotul Jannah, Muhammad Faiq Luthfan dan Salwa Nabilla Izati.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka

Semarang, Juni 2004

Penulis

Nur Kusuma Dewi

NIM. L4K 002017

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan innayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan tugas akhir pada program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang dalam mencapai gelar kesarjanaan pada Program Pasca Sarjana (S2).

Dalam kesempatan ini penulis menghaturkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada yang terhormat :

1. Bapak DR Ir. H. Purwanto Dpl, DEA selaku pembimbing utama dan bapak Ir. Syafrudin, CES, MT selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan dan bantuan serta dukungan dengan penuh kesabaran dan penuh perhatian, sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Ir. H. Agus Hadiyanto, MT dan Bapak DR Tonny Bachtiar M.Sc, selaku penguji yang banyak memberikan saran-saran yang sangat berharga demi penyempurnaan tesis ini.
3. Bapak Prof. DR. Dr Suharjo Hadisaputro, selaku Direktur Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, yang telah memberi Beasiswa (BPPS), sehingga dapat membantu penulis dalam menyelesaikan studi.
4. Bapak Prof. DR. H. Sudharto P. Hadi. MES, selaku Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan UNDIP yang telah memberikan fasilitas akademik, dan memberikan dukungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
5. Rektor dan Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang yang telah berkenan memberikan izin kepada penulis untuk melanjutkan studi S2.
6. Rektor Universitas Wahid Hasyim, yang telah berkenan memberikan izin kepada penulis untuk menggunakan Laboratorium untuk penelitian

7. Suami tercinta, Drs. H. Noor Achmad, MA, dan putra putrinda buah hati tersayang, Mella, Seira, Silka, Faiq dan Nabila, yang telah mendampingi penulis dengan penuh cinta kasih yang mendalam dan meyejukkan hati, serta penuh pengertian dan dukungan sehingga penulisan tesis ini dapat diselesaikan.
8. Ayah bunda tercinta yang selalu berdoa untuk putrinya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
9. Adik-adiku tersayang, yang banyak memberikan dukungan untuk terselesaikannya tesis ini.
10. Para Dosen, pengelola dan karyawan MIL, yang telah banyak memberikan bantuan yang berharga dalam penulisan tesis.
11. Teman teman Magister Ilmu Lingkungan angkatan 2002, khususnya kelas reguler, dan lebih khusus lagi tujuh orang sahabat seperjuangan konsentrasi rekayasa, yang senantiasa memberikan semangat dan bantuannya sehingga tesis ini dapat penulis selesaikan.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan semangat dan bantuannya dalam menyelesaikan tesis ini.

Semoga apa yang telah diberikan mendapat balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT, Amin. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, maka kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya semoga tulisan ini bermanfaat bagi yang membacanya sebagai upaya pengelolaan lingkungan yang berkesinambungan. Bumi bukan milik kita tetapi milik anak cucu kita.

Semarang, Juni 2004

Penulis

DIMINUTION OF CADMIUM TOXICITIES **TO BANDENG FISH (*Chanos chanos* Forskal) USING** **ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)** **AND ITS TRANSPORT PHENOMENON**

ABSTRACT

The heavy metal such as Cadmium is very toxic to human health. The aim of this research is to determine the reduction of toxicities of Cd to bandeng fish (*Chanos chanos* Forskal) with 5-6 cm fairish in the saline medium with and without *eceng gondok* (water hyacinth) as well as the phenomena of transport.

The investigation of toxicities is carried out with and without *eceng gondok* by adding CdSO₄ as a source of Cadmium. The experiment was conducted in the 36 aquarium with and without *eceng gondok*. The quality of water in these medium is similar, so that the determination of toxicities is only influenced by *eceng gondok*. Experimental was conducted statically, by acclimatization of the fish at the first step, and than passing fish on the aquarium with or without *eceng gondok* during 16 days. The mortalities of bandeng fish, structure of microanatomy of branchia and the concentration of Cd in the *eceng gondok* as well as in the water phase was measured regularly.

The lethal concentration during 96 hours (LC 50 – 96h) of CdSO₄ in the saline water to the bandeng fish is 224,74 ppm. By using *eceng gondok* as a biofilter, the LC 50-96h is 343,25 ppm. The utilization of *eceng gondok* reduces the toxicity of cadmium by 34,5 %. The microanatomy of branchia in the bandeng fish degraded as a function of cadmium concentration. The change of structure at branchia consist of edema at epithelium cell, epithelium cell hyperplasia and dropsy cell as well as the merger of two or more seconded lamellas.

The transport of Cd in the *eceng gondok* is indicated by the accumulation of Cd²⁺ in root, in the thrunk and in the leaf, by 70 %, 16 % and 14 % successively. The model of adsorption of Cd follows the Freundlich equation, as :

Root	: x / m	= 0,01557 C ^{1,0777}
Trunk	: x / m	= 0,019127 C ^{0,8506}
Leaf	: x / m	= 0,0003628 C ^{1,6346}
and the total in the <i>eceng gondok</i>	: x / m	= 0,00028018 C ^{0,2791}

By this result, the fitoremediation using *eceng gondok* could be used as an alternative solution to heavy metal contamination in the water medium.

Keyword : Toxicities, Cadmium, *Chanos chanos* Forskal, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, Fitoremediation, adsorption

**PENURUNAN DERAJAT TOKSISITAS KADMIUM TERHADAP
IKAN BANDENG (*Chanos chanos* Forskal) MENGGUNAKAN
ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)
DAN FENOMENA TRANSPORTNYA**

INTISARI

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan toksisitas logam berat Cd, terhadap ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) berukuran 5 - 6 cm baik pada perlakuan dengan eceng gondok maupun tanpa eceng gondok (*Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms), menggunakan senyawa $CdSO_4$. Metode penelitian menggunakan uji hayati (bioassay). Pengujian dilakukan secara statis, melalui tahap pemeliharaan ikan uji, tahap aklimasi, dan tahap perlakuan. Pada perlakuan dengan eceng gondok sebelum perlakuan uji toksisitas terhadap ikan dilakukan, media air uji diberi perlakuan eceng gondok terlebih dahulu selama 16 hari. Uji toksisitas menggunakan 36 akuarium; 18 akuarium tanpa perlakuan eceng gondok dan 18 akuarium dengan perlakuan eceng gondok.

Berdasarkan Analisis Probit diperoleh LC 50-96 jam pada perlakuan dengan eceng gondok dan tanpa eceng gondok berturut-turut sebesar 343,25 ppm dan 22 4,74 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa toksisitas Cd menurun sebesar 34,50%, pada perlakuan dengan eceng gondok.

Mikroanatomi *branchia* ikan bandeng 96 jam setelah perlakuan dengan Cd mengalami degenerasi struktural. Perubahan struktur pada *branchia* meliputi *edema* pada *sel epitelium*, *hiperplasia sel epitelium* dan *sel basal* serta *fusi* dua atau lebih *lamela sekunder*. Konsentrasi Cd berpengaruh terhadap mortalitas ikan bandeng, semakin tinggi konsentrasi semakin tinggi mortalitasnya.

Akumulasi Cd^{2+} di akar, batang dan daun menunjukkan bahwa akar mengakumulasi Cd^{2+} paling banyak (70%) berturut-turut batang (16%) dan daun (14%). Model persamaan konsentrasi jerapan Cd^{2+} pada akar, batang dan daun serta pada eceng gondok secara keseluruhan mengikuti model Freundlich sebagai berikut :

Akar	: $x/m = 0,01557 C^{1,0777}$
Batang	: $x/m = 0,019127 C^{0,8506}$
Daun	: $x/m = 0,0003628 C^{1,6346}$
dan eceng gondok	: $x/m = 0,00028018 C^{0,2791}$

Fitoremediasi menggunakan eceng gondok sebagaimana dalam penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu solusi untuk pengikatan logam berat kadmium sehingga lingkungan terbebas dari pencemaran.

Kata kunci : Toksisitas, Kadmium, *Chanos chanos* Forskal, *Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms, , Fitoremediasi, Adsorpsi.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Kegunaan Penelitian.....	6
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Landasan Teori.....	7
2.2. Originalitas Penelitian	34
2.3. Hipotesis	35
BAB III : METODE PENELITIAN.....	36
3.1. Bahan.....	36
3.2. Alat	36
3.3. Cara Kerja.....	36
3.4. Variabel Penelitian	41

3.5. Rancangan Penelitian	41
3.6. Langkah-langkah Penelitian/Pendekatan Penelitian	45
3.7. Analisis Data.....	46
3.8. Waktu dan Lokasi Penelitian	46
 BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1. Penentuan Toksisitas Cd Terhadap Ikan Bandeng (<i>Chanos chanos Forskal</i>).....	47
4.2. Pengaruh Toksik Cd terhadap Ikan Bandeng (<i>Chanos chanos Forskal</i>).....	54
4.3. Pengaruh Cd Terhadap Mortalitas	73
4.4. Fenomena Transport Pada Eceng Gondok	76
4.5. Pemodelan Keseimbangan Adsorpsi.....	83
4.6. Model Jerapan Cd ²⁺ oleh Eceng Gondok	92
 BAB V : KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	97
5.1. Kesimpulan.....	97
5.2. Rekomendasi.....	98
 DAFTAR PUSTAKA	100
LAMPIRAN	106

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Mortalitas (%) ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal) dalam penentuan toksisitas Cd selama 96 jam tanpa perlakuan eceng gondok (<i>Eichhornia Crassipes</i> (Mart.) Solms)	47
2. Mortalitas (%) ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal) dalam penentuan toksisitas Cd selama 96 jam dengan perlakuan eceng gondok (<i>Eichhornia Crassipes</i> (Mart.) Solms)	48
3. Hasil pengukuran kualitas fisikokimia air uji selama penelitian.....	53
4. Frekuensi pernapasan ikan selama pengujian dengan Cd tanpa perlakuan eceng gondok.....	57
5. Frekuensi pernapasan ikan selama pengujian dengan Cd dengan perlakuan eceng gondok.....	58
6. Hasil analisis Uji Statistik Mortalitas Ikan Bandeng	73
7. Prosentase Akumulasi Cd ²⁺ pada Akar, Batang dan Daun Eceng Gondok.....	77
8. Prosentase Akumulasi Cd pada Akar, Batang dan Daun Eceng Gondok selama 16 hari	78
9. Akumulasi Cd ²⁺ selama 16 hari pada Akar Eceng Gondok Basis Kering	83

10.	Perhitungan Model Adsorpsi Linier Freundlich dan Langmuir	
	Jerapan Cemar Cd^{2+} oleh Akar Eceng Gondok	83
11.	Akumulasi Cd^{2+} (mg) Selama 16 Hari dalam Batang Eceng	
	Gondok Basis Kering.....	86
12.	Perhitungan Model Adsorpsi Linier Freundlich dan Langmuir	
	Jerapan Cemar Cd^{2+} oleh Batang Eceng Gondok	86
13.	Akumulasi Cd^{2+} (mg) Selama 16 hari pada Daun Eceng Gondok	
	Basis Kering	89
14.	Perhitungan Model Adsorpsi Linier Freundlich dan Langmuir	
	Jerapan Cemar Cd^{2+} oleh Daun Eceng Gondok	89
15.	Akumulasi Cd^{2+} pada Eceng Gondok Basis Kering	92
16.	Konsentrasi Cd^{2+} pada Air Uji Setelah Perlakuan Eceng Gondok	
	16 hari	92
17.	Data Cd^{2+} dan berat kering Eceng Gondok setelah 16 hari	
	Perlakuan.....	92
18.	Koreksi penyimpangan model Freundlich Jerapan Cd^{2+} pada	
	Eceng Gondok	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Rancangan penelitian	42
2. Visualisasi Rancangan percobaan	43
3. Visualisasi Perlakuan dengan Eceng Gondok	43
4. Visualisasi Uji Sesungguhnya	44
5. Diagram Alir.....	45
6. Garis probit - log konsentrasi CdSO ₄ pada perlakuan tanpa eceng gondok dan dengan eceng gondok.....	51
7. Hubungan antara konsentrasi CdSO ₄ pada perlakuan tanpa eceng gondok dan dengan eceng gondok terhadap prosentase mortalitas ikan bandeng	51
8. Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal) kontrol, tanpa perlakuan eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 Jam.....	60
9. Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal) kontrol, dengan perlakuan eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 Jam.....	61
10. Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanoschanos</i> Forskal) pada perlakuan 14,65 ppm Cd ²⁺ tanpa menggunakan eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 jam.....	62

11.	Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal)	
	pada perlakuan 14,65 ppm Cd^{2+} dengan menggunakan eceng	
	gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 jam.....	63
12.	Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal)	
	pada perlakuan 46,55 ppm Cd^{2+} tanpa menggunakan eceng	
	gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 jam.....	64
13.	Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal)	
	pada perlakuan 46,55 ppm Cd^{2+} dengan menggunakan eceng	
	gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 jam.....	65
14.	Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal)	
	pada perlakuan 99,27 ppm Cd^{2+} tanpa menggunakan eceng	
	gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 jam.....	66
15.	Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal)	
	pada perlakuan 99,27 ppm Cd^{2+} dengan menggunakan eceng	
	gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 Jam.....	67
16.	Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal)	
	pada perlakuan 234,38 ppm Cd^{2+} tanpa menggunakan eceng	
	gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 Jam	68
17.	Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal)	
	pada perlakuan 234,38 ppm Cd^{2+} dengan menggunakan eceng	
	gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 Jam	69
18.	Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal)	
	pada perlakuan 281,44 ppm Cd^{2+} tanpa menggunakan eceng	
	gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 Jam	70

19.	Potongan sagital <i>branchia</i> ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal) pada perlakuan 281,44 ppm Cd^{2+} dengan menggunakan eceng gondok (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms) selama 96 Jam	71
20.	Laju Penjerapan Cd^{2+} pada akar, batang dan daun eceng gondok selama 16 hari	76
21.	Prosentase Akumulasi Cd^{2+} Pada Akar, Batang dan Daun Eceng Gondok.	77
22.	Prosentase Akumulasi Cd^{2+} pada Akar, Batang dan Daun Eceng Gondok.....	79
23.	Grafik Hubungan Log (x/m) dan Log C Pemodelan Freundlich Jerapan Cd^{2+} oleh akar Eceng Gondok	84
24.	Grafik Hubungan C (x/m) dan C Pemodelan Langmuir Jerapan Cd^{2+} oleh Akar Eceng Gondok.....	85
25.	Grafik Hubungan Log (x/m) dan Log C Pemodelan Freundlich Jerapan Cd^{2+} oleh Batang Eceng Gondok.....	87
26.	Grafik Hubungan C (x/m) dan C Pemodelan Langmuir Jerapan Cd^{2+} oleh Batang Eceng Gondok.....	88
27.	Grafik Hubungan Log (x/m) dan Log C Pemodelan Freundlich Jerapan Cd^{2+} oleh Daun Eceng Gondok.....	90
28.	Grafik Hubungan C (x/m) dan C Pemodelan Langmuir Jerapan Cd^{2+} oleh Daun Eceng Gondok.....	91
29.	Grafik hubungan log (x/m) dan log C pemodelan freundlich jerapan Cd^{2+} oleh eceng gondok.....	93
30.	Grafik penyimpangan model Freundlich Jerapan Cd^{2+} pada Eceng Gondok (x/m model dan x/m hasil pengukuran)	94

DAFTAR LAMPIRAN

1.	Hasil Uji Pendahuluan	106
2.	Tabel skala konsentrasi-konsentrasi yang dapat dipergunakan untuk membantu menentukan variasi kadar perlakuan suatu biossay dengan berdasarkan atas “interval progresive bisection” pada suatu skala logaritmik.	106
3.	Mortalitas (%) ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal) dalam penentuan toksisitas CdSO ₄ selama 96 jam tanpa perlakuan eceng gondok (<i>Eichhornia Crassipes</i> (Mart.) Solms)	107
4.	Mortalitas (%) ikan bandeng (<i>Chanos chanos</i> Forskal) dalam penentuan toksisitas CdSO ₄ selama 96 jam dengan perlakuan eceng gondok (<i>Eichhornia Crassipes</i> (Mart.) Solms)	108
5.	Perhitungan analisis probit toksisitas CdSO ₄ (LC 50 – 96 jam) terhadap ikan bandeng tanpa eceng gondok.....	109
6.	Perhitungan analisis probit toksisitas CdSO ₄ (LC 50 – 96 jam) terhadap ikan bandeng dengan eceng gondok.....	112
7.	Perhitungan analisis probit toksisitas CdSO ₄ (LC50 – 96 jam) terhadap ikan bandeng tanpa Eceng Gondok	113
8.	Perhitungan analisis probit toksisitas CdSO ₄ (LC50 – 96 jam) terhadap ikan bandeng dengan perlakuan Eceng Gondok	116
9.	Data Statistik dan Hasil Pengolahan	117
10.	Perhitungan Uji Statistik	118

11. Konsentrasi Cd^{2+} (mg) di dalam Air Uji dengan perlakuan 5 rumpun Eceng Gondok Selama 16 hari	128
12. Akumulasi Cd^{2+} (mg) dalam Akar Eceng Gondok Selama 16 hari Perlakuan.....	128
13. Akumulasi Cd^{2+} (mg) dalam Batang Eceng Gondok Selama 16 hari Perlakuan.....	128
14. Akumulasi Cd^{2+} (mg) dalam Daun Eceng Gondok Selama 16 hari Perlakuan.....	129
15. Akumulasi Cd^{2+} pada Eceng Gondok selama 16 hari perlakuan.....	129
16. Perhitungan Model Adsorpsi Linier Freundlich dan Langmuir Jerapan Cemar pada Cd^{2+} oleh Akar Eceng Gondok	130
17. Perhitungan Model Adsorpsi Linier Freundlich dan Langmuir Jerapan Cemar pada Cd^{2+} oleh Batang Eceng Gondok.....	130
18. Perhitungan Model Adsorpsi Linier Freundlich dan Langmuir Jerapan Cemar pada Cd^{2+} oleh Daun Eceng Gondok	130
19. Model Freundlich Terhadap Penjerapan Cd^{2+} oleh Eceng Gondok	131
20. Hasil Analisis Laboratorium	132
21. Lokasi Pengambilan Eceng Gondok di Daerah Pelabuhan Semarang	138
22. Lokasi Tambak Bandeng Tempat Pengambilan Ikan Uji di Daerah Tugu, Jarak Semarang.....	139

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kemajuan IPTEK mengakibatkan pembangunan di berbagai bidang maju dengan pesat, dan bermanfaat untuk meningkatkan kesejahteraan manusia. Namun demikian ternyata pembangunan tidak saja memberikan manfaat, tetapi juga membawa resiko; berupa rusaknya lingkungan, terganggunya ekosistem, baik ekosistem darat, udara maupun perairan.

Pencemaran di perairan antara lain disebabkan oleh logam berat dari unsur kadmium (Cd). Polutan ini berasal dari beberapa sumber antara lain sumber alami, pertambangan dan industri. Di berbagai industri Cd dipakai sebagai komponen pelapis/pencampur logam, patri aluminium, pembuatan klise, amalgama dalam kedokteran gigi, pemrosesan foto berwarna, pewarna porselin, industri gelas, industri keramik, sebagai foto konduktor, sebagai foto elektrik, sebagai bahan pencampur pigmen, sebagai campuran pupuk fosfat, sabun, tekstil, kertas, karet, tinta cetak, kembang api, anthelminthes bagi babi dan ayam, obat syphilis dan TBC - (Berman, 1980). Dengan meningkatnya industrialisasi, terjadilah kenaikan konsentrasi substansi logam berat Cd di badan perairan, sehingga memungkinkan dapat tercapainya tingkat konsentrasi toksis bagi kehidupan akuatik; dan berpotensi sebagai polutan berbahaya. Oleh karena itu maka studi tentang efek Cd terhadap kehidupan biota akuatik, khususnya ikan sebagai indikator pencemaran lingkungan perairan perlu diadakan.

Dalam Undang-Undang R.I. No. 23 Tahun 1997 tentang Ketentuan-ketentuan pokok pengelolaan Lingkungan Hidup disebutkan bahwa pencemaran lingkungan

adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi berkurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (Anonymous, 1997).

Di Jepang pernah terjadi suatu peristiwa, pabrik-pabrik yang menghasilkan limbah Cd, membuang limbahnya ke sungai Jintsh dalam waktu yang lama. Akibatnya ikan-ikan yang mengandung Cd dengan konsentrasi tinggi yang ditangkap nelayan, apabila dimakan dapat menyebabkan penyakit yang disebut *Ouch-ouch*, dan telah membawa kematian 100 manusia (Dix, 1981). Selain peristiwa tersebut, di Jepang pernah pula terjadi suatu peristiwa bertambahnya jumlah Cd dalam air irigasi dan makanan menyebabkan penyakit yang tidak dapat disembuhkan, yang dikenal dengan nama penyakit *Itai-itai*, yaitu kontraksi otot-otot karena kehilangan sejumlah kalsium (Uhlman, 1979).

Kadmium membahayakan kesehatan melalui rantai makanan. Hewan dengan mudah menyerap kadmium dari makanan; dan terakumulasi dalam jaringan seperti ginjal, hati dan alat-alat reproduksi (Duffus, 1980). Menurut Mailman (1980) logam berat Cd diadsorpsi dalam bentuk ion-ion garam Cd terlarut. Di dalam lingkungan akuatik, suatu kontaminan masuk ke dalam jaringan organisme *autotrof* dengan cara adsorpsi langsung. Pada ikan, kontaminan dapat masuk melintasi barier biologik yang memisahkan medium internal organisme dari lingkungan sekitarnya dengan cara adsorpsi langsung maupun tidak langsung. Proses adsorpsi langsung tergantung pada tempat persentuhannya. Di dalam tubuh ikan persentuhan terutama melalui insang (*branchia*) yakni pada *epithelium branchiale*. Sementara itu yang masuk secara tidak langsung lewat jalur *tropic* berlangsung melalui *mikrovili* permukaan

intestinum (Boudou *et. al.*, 1983). Kerusakan struktur mikroanatomi insang dapat digunakan sebagai indikator pencemaran (Tandjung, 1982)

Ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) merupakan ikan jenis budidaya air payau (tambak) yang sekaligus juga merupakan bahan konsumsi masyarakat luas, sehingga mempunyai prospek yang cukup baik di negara kita baik ditinjau dari segi ekonomi maupun usaha peningkatan gizi masyarakat. Sementara itu pengembangan berbagai aktivitas industri dan pertanian yang menggunakan logam berat Cd, menyebabkan unsur ini secara langsung maupun tidak langsung mencemari lingkungan perairan tempat budidaya ikan bandeng. Akibatnya banyak bandeng yang mati karena keracunan Cd, sehingga petani tambak banyak mengalami kerugian. Akibat yang lebih parah dapat dialami manusia yang mengkonsumsi bandeng tersebut, yaitu berupa keracunan, atau bahkan sampai pada kematian.

Sehubungan dengan hal tersebut, maka penanggulangan limbah Cd di lingkungan perairan harus diusahakan agar lingkungan tersebut terjaga kualitasnya, sehingga dapat mendukung semua kehidupan organisme di dalamnya.

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*, (Mart.) Solms) merupakan tumbuhan air yang dapat digunakan untuk pembersihan limbah pada umumnya dan limbah Cd pada khususnya. Sebagaimana dikatakan oleh Soemarwoto (1983), bahwa di Indonesia sudah diketahui suatu cara penjernihan air yang sederhana dan murah yaitu dengan menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*, (Mart.) Solms). Demikian pula menurut laporan dari luar negeri eceng gondok dapat digunakan untuk memperbaiki mutu kimia air.

Penelitian tentang kemampuan eceng gondok dalam menyerap logam berat telah banyak dilakukan, antara lain oleh Hasim (2000) terhadap logam Pb dengan hasil pada hari ketujuh kadar logam Pb menurun sebesar 96,4 % pada perlakuan

dengan satu rumpun eceng gondok dan menurun sebesar 99,7 % pada perlakuan dengan tiga rumpun eceng gondok. Penelitian yang sama dilakukannya pula terhadap logam Fe di laboratorium Biokimia IPB, dengan hasil pada hari ketujuh eceng gondok dapat menurunkan logam Fe sebesar 74,47 % pada perlakuan dengan tiga rumpun eceng gondok. Serangkaian penelitian tentang kemampuan eceng gondok dalam menyerap logam berat menunjukkan bahwa eceng gondok dapat menyerap Cd, Hg, dan Ni masing masing sebesar 1,35 mg/g, 1,77mg/g dan 1,16 mg/g dalam waktu 24 jam (Widyanto dan Susilo, 1997).

Eceng gondok merupakan tanaman gulma yang tumbuh sangat cepat di danau, waduk maupun tambak dan rawa sehingga dalam waktu yang sangat singkat dapat mengurangi oksigen perairan sehingga terjadi *eutrophikasi*; mengurangi *fitoplankton* dan *zooplankton* serta menyerap air sehingga terjadi proses pendangkalan. Namun dari segi teknologi eceng gondok memiliki kadar serat yang tinggi, serat tersebut dapat dimanfaatkan secara komersial baik secara tradisional sampai industri yang mutakhir. Eceng gondok sebagai bahan baku untuk kerajinan rakyat sangat diminati oleh para turis asing. Dari kajian secara industri eceng gondok dapat digunakan sebagai bahan baku campuran industri papan partikel, papan serat, pulp dan kertas.

1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pengembangan berbagai aktifitas industri yang menggunakan logam berat Cd (kadmium), menyebabkan unsur ini secara langsung maupun tidak langsung mencemari lingkungan perairan tempat budidaya ikan pada umumnya dan ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) pada khususnya. Akibatnya banyak bandeng yang mati karena keracunan Cd, dan akibat yang lebih parah dapat dialami manusia yang

mengonsumsi bandeng tersebut, yaitu berupa keracunan sampai pada kematian. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) merupakan tumbuhan air yang dapat digunakan untuk menyerap logam berat. Maka dapat dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut:

1. Di lapangan belum tersedia data tentang kemampuan eceng gondok dalam menurunkan derajat toksisitas logam berat Cd terhadap ikan bandeng pada media air payau.
2. Belum terdapat data di lapangan tentang berbagai tingkat kerusakan struktur mikroanatomi insang (*branchia*) ikan bandeng akibat senyawa toksik Cd sebagai indikator pencemaran
3. Di lapangan belum didapatkan data tentang pengaruh besarnya konsentrasi Cd terhadap mortalitas ikan bandeng.
4. Belum terdapat data di lapangan tentang akumulasi Cd^{2+} di akar, batang dan daun serta fenomena transport ion Cd^{2+} yang terjadi pada eceng gondok dan model jerapannya

1.3. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui ada tidaknya penurunan derajat toksisitas pada perlakuan dengan eceng gondok, dengan cara membandingkan besarnya derajat toksisitas kadmium terhadap ikan bandeng yang dimanifisasikan sebagai LC 50-96 jam pada perlakuan dengan eceng gondok maupun tanpa eceng gondok.
2. Untuk mengetahui tingkat kerusakan struktur mikroanatomi insang ikan bandeng akibat senyawa toksik Cd sebagai indikator pencemaran.

3. Untuk mengetahui hubungan antara besarnya konsentrasi Cd perlakuan dengan tingginya mortalitas ikan uji.
4. Untuk mengetahui besarnya konsentrasi kadmium yang terakumulasi oleh eceng gondok baik yang ada di akar, batang maupun di daun sehingga dapat diketahui fenomena transport dan model jerapannya

1.4. Kegunaan Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai masukan bagi pihak pihak terkait sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan kebijakan di lapangan, dalam upaya pembersihan polutan logam berat kadmium dan logam berat pada umumnya, sehingga perairan payau dan perairan pada umumnya terbebas dari pencemaran, dengan biaya yang relatif murah yaitu menggunakan eceng gondok.

Adapun kajian tentang kelainan struktur mikroanatomi insang sebagai indikator tingkat pencemaran diharapkan dapat dijadikan sebagai sumber informasi yang bermanfaat bila akan mengkaji efek toksik Cd terhadap kerusakan *branchia* ikan bandeng sebagai indikator pencemaran.

Pengaruh konsentrasi Cd terhadap tingkat mortalitas ikan bandeng diharapkan dapat dijadikan sebagai sumber informasi yang dapat membantu bila akan mengkaji efek toksik Cd terhadap mortalitas ikan bandeng.

Sedangkan model jerapan pada eceng gondok diharapkan dapat dijadikan model yang dapat diaplikasikan di lapangan dalam menentukan/memperkirakan berapa banyak eceng gondok yang mesti dipakai/ ditanam bila suatu limbah Cd akan diturunkan sampai pada nilai batas ambang sesuai baku mutu dengan cara fitoremediasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Tinjauan Umum Kadmium

Kadmium (Cd) adalah logam berat yang secara normal terdapat pada tanah dan air dalam kadar rendah (Duffus, 1980). Kadmium berasal dari beberapa sumber yaitu, sumber alami, pertambangan dan industri. Pada lapisan litosfir, kadmium terdapat dalam bentuk kadmium sulfid. Sedangkan di biosfir secara alami berasal dari aktivitas gunung berapi, getah tanaman, hutan yang terbakar dan debu serta batu-batuan yang terbawa oleh angin (Ravera, 1984). Gunung berapi merupakan sumber kadmium terbesar secara alami (Hutton, 1983). Dari pertambangan, kadmium tidak ditambang secara tersendiri tetapi merupakan bahan ikutan dari pengolahan tambang dan produksi timah hitam (Pb), Seng (Zn), Kuprum (Cu), batu bara dan minyak (Hutton, 1983). Di berbagai industri Cd dipakai sebagai komponen pelapis/pencampur logam, patri alumunium, pembuatan klise, amalgama dalam kedok teran gigi, pemrosesan foto berwarna, pewarna porselin, industri gelas, industri keramik, sebagai foto konduktor, sebagai foto elektrik, sebagai bahan pencampur pigmen, sebagai campuran pupuk fosfat, sabun, tekstil, kertas, karet, tinta cetak, kembang api, anthelminthes bagi babi dan ayam, obat syphilis dan TBC (Berman, 1980).

Kadmium merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksis yang tersebar luas di lingkungan perairan, terutama di daerah pantai dan muara (Preston, 1975 *dalam* Ward, 1982). Di Jerman Barat, berdasarkan evaluasi statistik

menunjukkan bahwa kira-kira 36 % kadmium yang termakan oleh manusia berhubungan dengan makanan yang berasal dari hewan (Debackere, 1983). Hewan dengan mudah menyerap kadmium dari makanan dan terakumulasi dalam jaringan seperti ginjal, hati dan alat-alat reproduksi (Duffus, 1980).

Kadmium terdapat dalam air limbah dalam berbagai bentuk yakni: terlarut, tidak terlarut, anorganik, organik, tereduksi, teroksidasi, terpresipitasi, terabsorpsi. (Falahi dan Ardakani, 1984). Dikemukakan pula bahwa kadmium yang dipancarkan dari kendaraan bermotor ke dalam atmosfer dapat terakumulasi pada tumbuh-tumbuhan. Kelarutan garam kadmium sangat bervariasi, dengan garam halogen, sulfat dan nitrat larut dalam air, sedangkan dalam bentuk hidroksid dan karbonat tidak larut dalam air (Hamond and Beliles., Ravera, 1984).

2.1.2. Toksisitas Kadmium Terhadap Organisme

Durham (1975) mengemukakan bahwa toksisitas adalah kemampuan molekul suatu bahan kimia atau senyawa untuk menimbulkan kerusakan pada saat mengenai bagian tubuh atau permukaan yang peka terhadapnya .

Adapun tolok ukur pengujian efek bahan pencemar yang dianggap paling tepat adalah derajat toksisitas dengan metode bioassay. Suatu bahan pencemar yang berupa zat kimia murni, toksin, atau mungkin berupa limbah, diperlakukan pada hewan uji tertentu. Perlakuan ini dapat diberikan melalui oral, suntikan sub kutan atau sentuhan terhadap seluruh tubuh hewan uji (Clarke and Clarke, 1978).

Menurut Rand (1980) uji biologi tentang toksisitas suatu zat terhadap organisme akuatik pada umumnya dinyatakan sebagai *Lethal Concentration* (LC), berdasarkan prosentase hewan uji yang mati pada suatu konsentrasi substansi tertentu

yang diberikan. Adapun efek suatu substansi toksis ditentukan oleh faktor lamanya waktu pendedahan dan besarnya konsentrasi. Oleh sebab itu didalam menggambarkan hasil pengujian harus dicantumkan kedua faktor tersebut. Hasil uji biologi digambarkan sebagai *median lethal concentration* (LC_{50}) dalam waktu pendedahan tertentu. LC_{50} - 96 jam adalah notasi yang menggambarkan besarnya konsentrasi toksikan yang menyebabkan 50 % hewan uji mati di dalam waktu selama 96 jam.

Berdasarkan atas lamanya waktu pendedahan suatu toksikan, pola toksisitas dibedakan atas :

1. akut, yakni pendedahan dalam waktu yang singkat ;
2. sub akut, yakni pendedahan dalam waktu antara akut dan kronis, biasanya dalam waktu 90 hari ;
3. kronis, yakni pendedahan dalam waktu yang sangat lama (Durham, 1975).

Menurut Rand (1980), sifat efek toksis suatu zat atas jenis pengujian bioassay dibedakan menjadi :

1. Akut : bila tanggapan organisme terhadap suatu rangsang bersifat berat dan cepat, biasanya dalam waktu 4 hari untuk ikan dan organisme akuatik lainnya;
2. Subakut : bila tanggapan organisme terhadap suatu rangsang bersifat kurang berat dibandingkan dengan akut, timbul dalam waktu lebih lama dan dapat menjadi kronis;
3. Kronis: bila tanggapan organisme terhadap rangsang berlangsung dalam waktu yang panjang, sampai 1/10 atau lebih dari masa hidupnya;
4. Letal : bila tanggapan organisme terhadap rangsang bersifat langsung berupa kematian;

5. Subletal : bila tanggapan organisme terhadap rangsang tidak langsung berupa kematian.

Kajian mengenai efek subletal suatu toksikan terhadap ikan, menurut Mitrovic (1972) dapat menggunakan beberapa tolok ukur antara lain:

1. Mempelajari mengenai perubahan-perubahan sifat-sifat biologik yang terpenting, seperti:
 - a. Pola serta kecepatan pertumbuhan;
 - b. Cara makan;
 - c. Pematangan;
 - d. Kemampuan fertilisasi serta perkembangan telur;
 - e. Kelangsungan hidup anak ikan dan sebagainya;
2. Mempelajari mengenai gangguan-gangguan fungsi (studi patofisiologik) dengan metode fisiologik dan biokimia (pada umumnya secara hematologik, pengukuran derajat metabolik, studi mengenai aktivitas imunologik dan enzimatik atau pengamatan-pengamatan mengenai kelakuan);
3. Mempelajari perubahan-perubahan patomorfologik yang meliputi semua perubahan yang menyangkut morfologi ikan dari bentuk-bentuk eksternal sampai ke kerusakan-kerusakan histologik dan sitologik.

Kadmium mempunyai daya toksik yang luas. Kadmium yang termakan dapat menyebabkan nausea, salivasi, muntah, diare dan sakit perut. Inhalasi kadmium oksida dapat menyebabkan radang saluran pernapasan dan edema paru-paru (Arena, 1974. Bernard and Lauwerys, 1984). Menurut Hammond dan Beliles (1980), kadmium yang terinhalasi dapat menyebabkan *episema* dan perubahan *fibrosis* paru-paru.

Pada manusia Cd dapat merusak semua sel yang ada pada tubuh (Dreisbach, 1980). Dikatakannya pula bahwa penyakit yang dijumpai akibat terserap Cd dalam jumlah besar adalah : peradangan pada *gastrointestinal*, kerusakan ginjal dan hati. Keracunan yang akut dan fatal akibat terserap debu-debu Cd dapat mengakibatkan peradangan *epitel* dan *edema* pada paru-paru. Keracunan yang kronik dapat mengakibatkan rusaknya syaraf penciuman, batuk-batuk, berat badan menurun dan *anemia*.

Cd^{2+} pada konsentrasi yang rendah tidak toksik untuk tumbuhan, tetapi bila terakumulasi pada tingkat tertentu dapat meracuni hewan atau manusia melewati rantai makanan (Woolhouse, 1983). Dikatakannya pula bahwa pada konsentrasi yang tinggi Cd toksik untuk tumbuhan, dan menyebabkan klorosis pada daun, dan disertai dengan menurunnya laju fotosintesis, juga menghambat respirasi dan transport elektron pada *mitokandria*.

Mailmann (1980) mengemukakan bahwa logam berat Cd mudah *diadsorpsi* dalam bentuk garam Cd terlarut. Di lingkungan akuatik, suatu kontaminan masuk dalam jaringan organisme yang bersifat *autotrof* dengan cara *adsorpsi* langsung. Pada ikan kontaminan dapat langsung masuk kedalam tubuh dengan melewati barrier biologik yang memisahkan medium internal organisme dari lingkungan sekitarnya dengan cara *adsorpsi* baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Proses *adsorpsi* langsung tergantung tempat persentuhannya, dan pada ikan terutama melalui *epithelium branchiale*. Sedangkan yang masuk secara tidak langsung (*trophic*) berlangsung melalui *mikrovili* permukaan *intestinum* (Boudou *et al.*, 1983).

Conell (1995) mengatakan bahwa proses perpindahan langsung suatu senyawa toksik dari air ke makhluk hidup disebut sebagai *biokonsentrasi*. Dengan demikian perpindahan toksikan dari air ke biota air tingkat tropik rendah, dari air ke biota air tingkat tropik lebih tinggi dan dari air menuju ke pemakan-pemakan penyaring di dalam lingkungan perairan digambarkan sebagai *biokonsentrasi* sedangkan perpindahan suatu senyawa toksik melalui rantai makanan ke suatu makhluk hidup disebut *biomagnifikasi*. Dengan demikian perpindahan senyawa toksik dari biota air tingkat tropik rendah ke biota air tingkat tropik lebih tinggi dalam lingkungan perairan dapat digambarkan sebagai *biomagnifikasi*. Padmawinata (1986) mengatakan bahwa suatu zat yang mempunyai waktu paruh biologik yang sangat panjang diberikan pada organisme dalam jangka waktu lama (secara kronis), pada kadar subletalnya akan mengakibatkan terjadinya akumulasi/ biokonsentrasi pada organisme tersebut. Cadmium mempunyai waktu paruh biologik yang sangat panjang pada manusia yakni 10 – 30 tahun.

Biokonsentrasi logam berat kadmium, dapat ditemukan pada makhluk hidup seperti ganggang, krustacea, molusca dan vertebrata, dan dengan terjadinya biomagnifikasi mengakibatkan biokonsentrasi Cd pada ikan paling besar. Apabila peningkatan akumulasi pada setiap mata rantai makanan 15 kali, maka akumulasi yang terdapat pada tubuh ikan merupakan proses penggandaan secara biologik (Sunu, 2001).

Menurut Hellawell (1989) dikatakan bahwa ikan menempati posisi puncak dalam piramida makanan. Pada ekosistem perairan ikan bertindak sebagai herbivor dan karnivor pada tingkat tropik yang berbeda dalam piramida makanan. Pada piramida makanan ini tingkat dasar ditempati kelompok tumbuhan hijau antara lain

algae, flagellata dan bakteri *fotosintetis*, pada bagian tengah ditempat herbivor lain yaitu kelompok moluska, larva insekta dan ikan. Akhirnya tingkat tropik bagian atas diduduki oleh karnivora terutama ikan (Lagler, *et al*, 1977 dalam Kariada , 2001).

Sulistyawati (1993) dalam penelitiannya tentang Toksisitas logam berat $CdCl_2$ pada kondisi perairan asam terhadap ikan mas (*Cyprinus carpio* L) menunjukkan bahwa Cd dalam bentuk $CdCl_2$ lebih toksis pada kondisi perairan asam terhadap ikan mas panjang 3-4 cm. Cd dalam bentuk $CdCl_2$ menyebabkan degenerasi struktur *branchia* dan disintegrasi jaringan permukaan intestinum ikan mas.

Djuraming (1988) melakukan penelitian tentang penentuan toksisitas air limbah pabrik gula Bone terhadap ikan *Cyprinus carpio* L. Dan penurunan toksisitasnya dengan aerasi dan penanaman eceng gondok dengan hasil penurunan toksisitas menggunakan eceng gondok lebih efektif dari pada dengan pemberian airasi.

2.1.3. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Uji Toksisitas Cd Terhadap Organisme Akuatik

Toksisitas suatu substansia terhadap organisme dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan yaitu : suhu, pH, salinitas, DO dan alkalinitas.

1. Suhu

Suhu adalah suatu faktor fisik lingkungan yang bekerja bukan mempengaruhi spesiasi senyawa logam berat di lingkungan perairan, melainkan mempengaruhi aktivitas mikro biota terhadap logam berat tersebut (Babich and Stotzky, 1983).

Alabaster dan Lloyd (1982), mengatakan bahwa toleransi ikan terhadap temperatur berbeda-beda tergantung pada jenis spesies, stadium pertumbuhan, derajat aklimasi, DO, jenis dan tingkat pencemaran, lamanya lingkungan terkena panas dan musim.

Suhu air sungai yang relatif tinggi biasanya ditandai dengan munculnya ikan dan hewan air lainnya ke permukaan untuk mendapatkan oksigen. Ikan yang berada di dalam air yang suhunya tinggi akan meningkat kecepatan respirasinya, sehingga menurunkan jumlah oksigen yang terlarut di air, dan dapat mengakibatkan matinya ikan maupun hewan air lainnya (Sunu, 2001)

Berubahnya temperatur baik naik maupun turun yang berlangsung secara mendadak sering kali bersifat letal bagi organisme perairan, terutama ikan, yang sering disebut sebagai guncangan temperatur ("*thermal shock*") (Wagner, 1971). Akibat lebih lanjut adalah terjadinya perubahan-perubahan ekologi serta kekacauan ekosistem lingkungan perairan yang bersangkutan (Miller, 1975).

Menurut Tandjung *et al.* (1980) efek-efek merugikan akibat kenaikan suhu adalah :

- a. Guncangan temperatur;
- b. Meningkatnya kepekaan organisme akuatik terhadap parasit, penyakit serta toksin-toksin kimia;
- c. Menurunnya kadar oksigen perairan, sementara kenaikan suhu akan menaikkan pula kebutuhan organisme akan oksigen;
- d. Meningkatnya derajat eutrofikasi, sebab kenaikan suhu dan penurunan kandungan oksigen akan memungkinkan berkembangnya ganggang hijau, biru yang tidak diinginkan tumbuh dengan leluasa;

- e. Menurunnya daya tahan hidup ikan-ikan muda yang mempunyai toleransi suhu yang lebih rendah;
- f. Terganggunya rantai makanan oleh hilangnya satu atau berbagai spesies kunci, terutama plankton, pada jenjang-jenjang rendah pada rantai makanan;
- g. Perubahan komposisi spesies ke arah spesies yang tidak diinginkan.

2. pH (Derajat Keasaman)

Pengaruh pH terhadap toksisitas bagi mikroorganisme menunjukkan bahwa toksisitasnya meningkat sejalan dengan kenaikan pH. Kenyataan ini diduga merupakan akibat menurunnya kompetisi antara ion Cd dengan ion-ion hidrogen dengan naiknya pH larutan (Babich and Stotzky, 1983).

Ikan dapat menyesuaikan diri dengan perubahan-perubahan pH perairan yang masih dalam batas normal toleransinya; tetapi ikan akan memilih suatu perairan yang ber-pH paling sesuai bagi kehidupannya jika ada kesempatan untuk memilih (Soepomo, 1975). Leidy (1980), mengatakan bahwa batas toleransi organisme akuatik adalah di antara pH 5-9, maka jika ada polutan yang mengganggu sistem buffer perairan tersebut akan dapat menimbulkan gangguan yang serius bagi organisme akuatik.

3. Salinitas

Salinitas menggambarkan kandungan garam-garam yang terlarut dalam air (Soepomo, 1982). Salinitas dinyatakan dalam daya hantar listrik (DHL, milimhos/cm atau dalam total kepadatan terlarut mg/l).

Ikan bandeng bersifat *euryhalien*, yakni sejenis ikan yang mempunyai toleransi kadar garam (salinitas) yang luas serta tahan terhadap goncangan salinitas tinggi dalam waktu yang relatif singkat (Hadie, *et al.*, 1986).

Kelangsungan hidup ikan sangat dipengaruhi oleh salinitas air pada habitatnya, karena perubahan salinitas dapat mempengaruhi tekanan osmotik. Kenaikan salinitas air juga akan menyebabkan penurunan gas-gas terlarut dalam air, misalnya DO (Boyd, 1979).

4. DO (Oksigen Terlarut)

Oksigen terlarut (dissolved oxygen) merupakan parameter mutu air yang sangat penting, karena nilai oksigen terlarut dapat menunjukkan tingkat pencemaran atau tingkat pengolahan air limbah. Oksigen terlarut ini akan menentukan kesesuaian suatu jenis air sebagai sumber untuk kehidupan (Sunu, 2001)

Banyaknya oksigen terlarut menunjukkan kemampuan badan perairan di dalam mengelola kadar minimal oksigen(Leidy, 1980). Oksigen terlarut dalam air dapat berasal dari atmosfer, atau proses fotosintesis tumbuhan air. Jumlah oksigen terlarut dalam air tergantung pada suhu, tekanan atmosfer dan kadar mineral dalam air (Coleridge, 1977).

Pada lingkungan perairan yang tidak tercemar, kadar minimum DO sebesar 5 ppm sudah cukup untuk mendukung beberapa aktivitas kehidupan yang normal seperti pertumbuhan juvenil, fecunditas, bertelur dan kelangsungan hidup bagi beberapa spesies ikan (Alabaster and Lloyd, 1982). Sedangkan banyak sedikitnya oksigen yang dikonsumsi organisme tergantung dari jenis, stadium, dan aktivitas dari organisme tersebut.

5. Alkalinitas

Alkalinitas menggambarkan kandungan basa. Pada perairan yang tercemar nilai alkalinitas menggambarkan basa dan hidroksil. Sedangkan pada perairan yang alami dan normal nilai alkalinitas terutama menggambarkan nilai kebasaan dari karbonat dan bikarbonat. Nilai alkalinitas suatu perairan menunjukkan kapasitas penyangga perairan itu serta dapat pula digunakan untuk menduga kesuburannya (Swingle *dalam* Soepomo, 1982). Nilai alkalinitas yang memenuhi syarat untuk budi daya ikan antara 20-300 mg/l.

2.1.4. Mikroanatomi dan Fungsi *Branchia* Ikan Bandeng

Apparatus respiratorius (organ pernapasan) *teleostei* terdiri atas *valvula respiratoris*, *branchia* dan *operculum*. *Valvula respiratoris* berpangkal pada sebelah dalam tepi celah mulut, baik pada bibir atas maupun pada bibir bawah. *Branchia* pada umumnya berjumlah 4 buah pada tiap-tiap sisi kepala, melekat pada dataran kaudal keempat *arci branchialis* yang pertama. Pada *arcus branchialis* yang kelima tidak ada *branchia*. *Operculum* terdiri dari empat buah tulang dermal, yaitu *os. Operkulare*, *os. Prae operkulare*, *os. Suboperkulare* dan *os. Interoperkulare*. Di sebelah kaudal *operculum* terdapat *membrana branchios tegalis* yang berakhir bebas dan berfungsi sebagai klep pada *apertura branchialis eksterna*. Membrana tersebut disokong oleh tulang-tulang kecil bengkok yang dinamakan *radii branchiostegii* (Radiopoetro, *et. al.*, 1986).

Pada setiap *arcus branchialis* terdapat sepasang jari-jari insang (*gill-ray*) yang berfungsi sebagai penguat struktur *branchia*. *Arcus branchialis* juga dilengkapi dengan tapis insang (*gill rakers*) yang berfungsi untuk memberi proteksi kepada insang terhadap masuknya partikel-partikel keras dan mencegah agar makanan tidak dapat keluar melalui *apertura branchialis* (Lagler, *et al.*, 1977).

Masing-masing *branchia* terdiri atas dua baris *filamentum branchialis*. Kedua baris *filamentum branchialis* yang melekat pada kedua sisi arcus branchialis disebut holobranchia, sedangkan deretan *filamentum branchialis* (lamella primer) pada salah satu sisi arcus branchialis disebut *hemibranchia* (Lagler *et al.*, 1977).

Pada setiap *filamentum branchialis* terdapat lembaran-lembaran halus melintang yang dilapisi oleh sel-sel *epithelium* pipih selapis, serta mengandung kapiler darah yang menghubungkan *arteria branchialis afferentia* dan *arteria branchialis efferentia*. Lembaran-lembaran melintang itulah yang merupakan tempat berlangsungnya pertukaran gas-gas *respiratorik* dan dinamakan *lamella secundaria branchialis* (Storer dan Usinger, 1957).

Pada tiap-tiap *lamella secundaria* dilapisi oleh sel-sel *epithelium* pipih selapis, dan terdiri dari jaringan pengikat *subepithelial* sel *pilaster Bietrix* dan *vasa capillaria*. Sel-sel *pilaster* mempunyai *nukleus* berbentuk bulat dan terpulas pucat dengan pemulas *hematoksilin*. Di dalam *vasa kapilaria* terdapat *eristosit* dengan *nukleus* berbentuk oval dan terpulas gelap. Di sepanjang *filamentum branchialis* tersebar sel-sel *glandula mukosa* (Andrew, 1959).

Di antara dua *lamella secundaria branchialis* terdapat sel-sel basal yang terletak di bagian basal *lamella*. Sel-sel asam berukuran lebih besar daripada sel-sel basal, dengan inti bulat dan terpulas biru tua dengan pemulas *hematoksilin* (lagler *et al.*, 1977).

Dengan menganalisis perubahan-perubahan seluler dan struktur mikroanatomi *lamella secundaria branchialis* dan *filamentum branchialis*, maka terjadinya kerusakan struktur *mikroanatomi branchia* ikan dapat dipakai sebagai indikator terjadinya pencemaran di lingkungan perairan (Tandjung, 1982).

Kerusakan *branchia* dari tingkat ringan hingga berat dirumuskan berdasarkan metode Tandjung (1982) sebagai berikut :

- Tingkat 1 : *Edema* pada *lamella*, menandakan telah terjadi kontaminasi tetapi belum ada pencemaran;
- Tingkat 2 : *Hiperplasia* pada pangkal *lamella*, merupakan gejala pencemaran;
- Tingkat 3 : *Fusi* dua *lamella* (pencemaran tingkat awal);
- Tingkat 4 : *Hiperplasia* hampir pada seluruh *lamella sekundaria*, telah terjadi pencemaran;
- Tingkat 5 : Rusaknya atau hilangnya struktur *filamentum branchia* (pencemaran berat)

2.1.5. Analisis Probit untuk Menentukan Toksisitas Cd Terhadap Ikan Bandeng

Untuk mengetahui LC_{50} . 96 jam Cd terhadap ikan bandeng digunakan Analisis Probit (Finey, 1975, Moekasan dan Koestoni, 1985) dengan cara sebagai berikut :

a. Koreksi Mortalitas

Jika pada kontrol terdapat ikan yang mati, mortalitas tersebut dihitung dengan rumus Abbott's (1925) dalam Moekasan dan Koestoni (1985) yaitu :

$$Pt (\%) = \frac{Po - Pc}{100 - Pc} \times 100$$

Keterangan:

Pt = koreksi mortalitas untuk setiap perlakuan (%)

Po = persentasi ikan yang mati untuk setiap perlakuan :

Pc = persentasi ikan yang mati pada kontrol.

Jika presentase ikan yang mati pada kontrol (Pc) lebih besar dari 25 % maka percobaan tersebut harus diulangi kembali.

- b. Menentukan nilai persentase mortalitas ikan yang telah dikoreksi dari setiap probit.
- c. Menentukan nilai probit yang diharapkan (*expected probit*)

$$Y' = \frac{xy}{x}, \quad x = X - \bar{X} \text{ dan } y = Y - \bar{Y}$$

$$Y' = \frac{\sum xy}{\sum x^2}(x - \bar{x}) + \bar{Y}$$

Keterangan :

$Y' = \text{expected probit}$

$X = \log \text{ konsentasi}$

$Y = \text{probit empirik (diperoleh dari tabel transformasi probit)}$

$\bar{x} = \text{rerata } X$

$\bar{y} = \text{rerata } Y$

$x = X - \bar{X}$

$y = Y - \bar{Y}$

- d. Menentukan nilai probit yang dikerjakan (y) untuk setiap nilai probit yang diharapkan (Y') dari setiap perlakuan, dengan menggunakan rumus seperti dibawah ini.

$$Y = y_0 + k.p'$$

Keterangan:

y = Nilai probit yang dikerjakan untuk setiap nilai y' dari setiap perlakuan

Y_0 dan k = di dapat dari tabel untuk setiap nilai y' dari setiap perlakuan .

p' = persentase koreksi mortalitas untuk setiap perlakuan .

- e. Untuk menghitung nilai \bar{Y} , \bar{X} dan kemungkinan garis regresi probit (b) dengan rumus sebagai berikut :

$$\bar{X} = \frac{Swx}{Sw} \quad \bar{Y} = \frac{Swy}{Sw}$$

$$b = \frac{Swxy - \bar{x}.Swy}{Swx^2 - \bar{x}.Swx}$$

Keterangan:

S = Jumlah

w = koefisien berat dalam tabel

y = Probit yang dikerjakan

x = log konsentrasi

swx = perkalian w dan x

swy = perkalian w dan y

- f. Menentukan persamaan garis regresi probit

$$Y = \bar{y} + b(x - \bar{x})$$

\bar{x} , dan b diperoleh dari langkah e

- g. Menentukan LC_{50} dan LC_{90} yang sesungguhnya (m)

$$\text{Log } m = \bar{x} + \frac{(\text{probit } LC - \bar{y})}{b}$$

Keterangan :

m = nilai LC yang sesungguhnya

\bar{x} = mean x

\bar{y} = mean y

b = kemiringan garis regresi probit

\bar{x} , \bar{y} dan b diperoleh dari langkah e

- h. Mencari batas bawah (m_1) dan batas atas (m_2) nilai LC_{50} dan LC_{90}

$$m_1 = m + 1,96 \sqrt{Vm}$$

$$m_2 = m - 1,96 \sqrt{Vm}$$

$$Vm = \frac{1}{b^2} \cdot \frac{1}{Sw} + \frac{(m - \bar{x})^2}{Swx_2 - \frac{(Swx)^2}{Sw}}$$

Keterangan :

Vm = Varians dan m

M = nilai LC_{50} dan LC_{90}

Sw = Σ nilai w

Swx^2 = Σ perkalian w dan x^2

Swx = Σ perkalian w dan x

\bar{X} = mean x

- i. Mencari homogenitas data

$$Y^2 = (Swy^2 - \bar{Y} \cdot Swy) - b (Swy - \bar{X} \cdot Swy)$$

Pengambilan keputusan dilakukan dengan membandingkan nilai X^2 hitung dengan X^2 tabel pada tingkat ketelitian 95 % dan derajat kebebasan $k-2$, dimana k adalah banyaknya perlakuan yang diuji. Bila Y^2 hitung $< X^2$ tabel berarti data yang diperoleh homogen. Bila X^2 hitung $> X^2$ tabel berarti data yang diperoleh adalah tidak seragam (heterogen).

2.1.6. Anova Dua Arah (*Two Way Classification*)

Untuk menentukan pengaruh konsentrasi Cd terhadap mortalitas ikan bandeng digunakan analisis GLM (*General Linear Models*) menggunakan (*Two Way Classification*). Dalam analisis ini digunakan dua macam kriteria misalnya saja ingin mengetahui variasi yang timbul akibat adanya penggunaan konsentrasi Cd yang berbeda terhadap mortalitas dan di lain pihak adanya penggunaan eceng gondok yang ingin dilihat pengaruhnya terhadap mortalitas (Steel and Torrie, 1980)

Setelah F hitung diketahui, untuk dapat menerima atau menolak hipotesis, maka mengkonsultasikan F_h (F hitung) dengan F_t (F tabel), apabila :

$F_h > F_t$ = ada perbedaan yang signifikan

$F_h < F_t$ = tidak ada perbedaan yang signifikan

Atau dapat pula dengan melihat probabilitasnya, yakni

Jika Probabilitas (α) $> 0,05$, maka H_0 diterima

Jika Probabilitas (α) $< 0,05$, maka H_0 ditolak

H_0 : - Prosentase kematian ikan bandeng dengan perlakuan tanpa eceng gondok dan dengan eceng gondok adalah sama.

- Besarnya konsentrasi Cd tidak berpengaruh terhadap mortalitas

H_a : - Prosentase kematian ikan bandeng dengan perlakuan tanpa eceng gondok dan dengan eceng gondok adalah berbeda.

- Besarnya konsentrasi berpengaruh terhadap mortalitas

Bila hasil uji signifikan (berbeda nyata), maka untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan, dilakukan uji LSD dengan rumus :

$$\text{L.S.D. } \alpha = t_{\frac{1}{2} \alpha \text{ df}} \sqrt{\frac{2 \cdot S^2}{r}}$$

Keterangan :

$t_{\frac{1}{2} \alpha \text{ df}}$ = merupakan besarnya t tabel

df = derajat kebebasan yang sesuai dengan MSSE

$n = r$ = jumlah n observasi pada masing-masing kolom

S^2 = Mean Squares of Error (MSSE)

2.1.7. Transport Logam Berat Cd dalam Eceng Gondok

Limbah industri yang mengandung logam berat Cd mencemari tambak tempat budidaya ikan bandeng sehingga meracuni ikan-ikan tersebut, akibatnya banyak bandeng yang mati. Eceng gondok diperlukan untuk menyerap polutan (biofilter) bagi logam berat Cd sehingga derajat toksisitas Cd menurun. Pada eceng gondok kadmium akan mengalami perpindahan/transport dari akar menuju ke batang dan dari batang menuju ke daun, mengikuti jalannya transport air dan hara. Adapun mekanisme transport pada tanaman dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Mekanisme Transport Unsur Hara dan Air serta Senyawa Toksik pada Tanaman Eceng Gondok

Unsur hara dibedakan menjadi unsur makro dan unsur mikro. Apabila unsur tersebut konsentrasinya di dalam tanaman 0,1 % (1000 ppm) atau lebih maka dikategorikan unsur makro dan apabila kurang dari 0,1 % termasuk unsur mikro.

Unsur makro meliputi: C,H,O,N, S,P,K,Ca,Mg, sedangkan unsur mikro meliputi: Cl,Fe,B,Mn, Zn,Cu,Mo. Selain unsur unsur tersebut, berbagai unsur dapat ditemukan pada tanaman, misalnya: Al,Cd,Ag,Pb,As,Hg. Unsur tersebut tidak berguna bagi tanaman, melainkan bersifat mengganggu metabolisme atau meracuni tanaman (Lakitan, 1993).

Transport zat pada tumbuhan diawali dengan proses penyerapan air dan zat hara, maupun senyawa toksik yang larut dalam air oleh akar. Eceng gondok, sebagaimana tumbuhan pada umumnya akan menyerap unsur-unsur hara yang larut dalam air melalui akarnya (Fitter & Hay, 1991). Tumbuhan memiliki kemampuan penyerapan yang memungkinkan pergerakan ion menembus membran sel, terutama nitrat dan amonium, fosfat, kalium, kalsium, sulfat, magnesium, besi, tembaga, boron, khlor, seng dan molybdenum (Wolverton dan Mc. Donald, 1979 dalam Widowati, 2000).

Pada tumbuhan, air mengalami transport melalui akar bersama-sama dengan unsur hara yang terlarut di dalamnya, kemudian diangkut ke bagian atas tanaman terutama daun, melalui pembuluh *xilem*. Transport air bersama unsur hara yang terlarut di dalamnya pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua, yakni pengangkutan *ekstravaskuler*, yang berlangsung di luar berkas pembuluh pengangkutan dan pengangkutan *intravaskuler* yang berlangsung di dalam berkas pembuluh pengangkutan. Pengangkutan *ekstravaskuler* dibedakan menjadi dua macam, yaitu *apoplas*, pengangkutan air melalui ruang antar sel dan *simplas* pengangkutan air dari sel ke sel melalui *sitoplasma*. Transportasi *apoplas* tidak memungkinkan air dan unsur hara sampai ke *xilem* karena pada dinding epidermis terdapat *pita kaspari* yang tidak dapat ditembus air. Transportasi *simplas*, air dan

unsur hara yang terlarut bergerak menembus dinding sel sitoplasma, vakuola dari satu sel ke sel lainnya melalui *plasmodesmata*, sehingga dapat mencapai *xilem* dan memungkinkan unsur tersebut sampai ke batang dan daun. Adapun transport/pengangkutan *intravaskuler* berlangsung melalui pembuluh angkut (*xilem* dan *floem*) Transport pada tanaman dapat berlangsung karena terjadinya proses difusi, proses transpirasi serta perbedaan tekanan osmosis dalam sel-sel tanaman. Transport melalui *xilem* dapat terjadi dengan mudah karena jaringan penyusunnya kebanyakan jaringan mati sehingga tidak menghambat translokasi dan distribusinya (Salisbury, 1992).

Fitter dan Hay (1991), mengemukakan bahwa tumbuhan yang tumbuh pada lingkungan dengan konsentrasi ion toksik yang tinggi akan mengadakan respon terhadap ion toksik tersebut dengan jalan :

- a. *Ameliorasi* (penanggulangan), tanaman kemungkinan menyerap ion toksik tersebut, tetapi tumbuhan bertindak sedemikian rupa untuk meminimumkan pengaruhnya, misalnya dengan pembentukan *kelat (chelation)* , pengenceran, *lokalisasi, eksresi*.
- b. *Toleransi*, tanaman dapat mengembangkan sistem metabolisme yang dapat berfungsi pada konsentrasi toksik yang potensial, dengan jalan pengikatan molekul enzim.
- c. *Eksklusi*, tanaman dapat mengenal ion yang toksik dan mencegah agar tidak terambil sehingga tidak mengalami toksisitas/keracunan.
- d. Penghindaran (escape) *fenologis*, apabila stress yang terjadi pada tanaman bersifat musiman, tanaman menyesuaikan siklus hidupnya, sehingga tumbuh dalam musim yang sangat cocok saja

Keempat respon tersebut yang terkait erat dengan fenomena penjerapan ion toksik adalah ameliorari (penanggungan). Ameliorasi dilakukan jika tumbuhan tidak mungkin menyingkirkan ion toksik. Apabila konsentrasi internal harus dihadapi ion-ion akan dipindahkan dari tempat sirkulasi dengan beberapa jalan, atau menjadi toleran dalam sitoplasma. Menurut (Fitter dan Hay, 1991), ada empat kemungkinan yang akan dilakukan tanaman, antara lain :

a. *Lokalisasi* (ekstra seluler atau intra seluler),

Peristiwa ini pada umumnya terjadi di dalam akar, karena bagian akar mempunyai *toleransi inheren* yang tinggi dibanding bagian ujung tanaman. Logam yang diakumulasi di dalam akar misalnya : Cu, Zn, Mn. Sedangkan ion toksik non esensiil terutama Fe, Cd disimpan di dalam akar. Ion toksik yang dijerap tanaman, dengan adanya enzim-enzim yang mengikat ion toksik, akan berikatan membentuk *kelat*. Bukti kuat *lokalisasi* ekstra seluler adalah konsentrasi suatu ion jauh lebih tinggi ditemukan di dalam akar, dibandingkan di bagian ujung tanaman. Akibat pengikatan fraksi *pektik* dari dinding sel, ion toksik akan masuk dalam tanaman. Apabila ion-ion ditempatkan di luar sirkulasi umum, ion toksik harus diakumulasi dalam kompartemen tertentu di dalam sel. Begitu ion melintasi *plasmolemma* maka ion akan menyebar merata ke bagian atas, sebagai contoh Pb pada tanaman jagung diakumulasi dalam gelembung *dictyosome*, Zn diakumulasi dalam *vacuola* pada tanaman. Penekanan keaktifan ion toksik secara kimia dengan membentuk kompleks dengan *malat*, sehingga ion toksik berkurang keaktifannya.

b. *Dilusi* (pengenceran).

Mekanisme ini berupa penambahan kandungan air sel, cara ini merupakan mekanisme ketahanan yang kurang praktis karena bersifat sementara bagi tanaman.

c. *Ekskresi*,

Proses ini ditandai dengan hilangnya suatu organ yang menjadi jenuh dengan toksin, dengan jalan daun menjadi cepat tua, dan rontok.

d. Inaktivasi secara kimia.

Pada peristiwa ini, ion ada dalam bentuk kombinasi sehingga toksisitasnya berkurang.

Tumbuhan-tumbuhan yang resisten terhadap logam berat mempunyai kadar logam berat pada daun, batang dan akarnya seperti tanaman yang normal lainnya. Selama ion toksik di dalam tumbuhan tidak dapat *didetoksifikasi*, maka tumbuhan mengalami adaptasi lain untuk mengatasinya. berbagai kejadian menunjukkan bahwa bentuk logam merupakan suatu kompleks yang yang tidak menyebabkan kerusakan, terjadi pada dinding sel atau vakuola. Dengan demikian apabila ion toksik ada di dalam tumbuhan, maka tumbuhan akan berusaha membentuk senyawa kompleks dengan ion toksik, sehingga menjadikan ion toksik tersebut tidak toksik lagi atau berkurang keaktifannya (Widowati, 2000).

Menurut Woolhouse (1983), tumbuhan dapat menjadi resisten terhadap senyawa toksik, antara lain disebabkan oleh :

a. Faktor *genetis*.

Resistensi genetis dapat terjadi karena adanya satu *allel* atau lebih yang resisten pada tingkat populasi gulma di lapangan, sehingga memungkinkan munculnya *gen* yang toleran pada senyawa toksik di alam.

b. Persaingan *inter spesies*.

Tumbuh-tumbuhan liar akan lebih tahan terhadap senyawa toksik dibandingkan tumbuhan yang telah mengalami seleksi. Hal ini disebabkan oleh adanya proporsi perkecambahan biji pada suatu waktu, laju perkecambahan, keberhasilan dalam adaptasi dengan lingkungan, beda fisiologis dalam laju pertumbuhan.

Titiresmi (2002) mengemukakan bahwa beberapa jenis tanaman yang mampu menyerap logam berat itu, antara lain eceng gondok, *typha*, wlingi (*scirpus*), dan kayu apu (*pistia*). Selanjutnya dijelaskan bahwa penggunaan metode remediasi (pemulihan) berbasis pada tanaman dikenal dengan istilah fitoremediasi. Metode ini mengandalkan peran tanaman untuk menyerap, mendegradasi, mentransformasi, dan memobilisasi bahan pencemar, baik logam berat maupun senyawa organik.

Jenis tanaman yang disenangi di negara berkembang ialah eceng gondok. Memang perhatian terhadap eceng gondok meningkat karena pengaruh keberhasilan penggunaannya di Amerika Serikat, tetapi mengingat situasi iklim di negara Indonesia hal ini dapat dimengerti. Pada iklim tropis dan subtropis, tanaman eceng gondok merupakan gulma yang hampir tidak dapat diatasi, sehingga dilihat dari sisi pembersihan air limbah, tersedia tanaman yang sangat kuat (Neis, 1989)

Priyanto (2002) menjelaskan tingkat pencemaran logam berat di Jakarta yang sudah berlangsung cukup lama berdampak pada pencemaran tanah. Dari hasil penelitian kandungan pencemaran Pb dan Cr (kromium) di tanah masing-masing mencapai 206-449 dan 56-266 mg/kg. Sebaliknya di daerah suburban yang jauh dari kegiatan industri, kadar Pb dan Cl di tanah mencapai 1 mg/kg. Konsentrasi logam berat yang tinggi di tanah dan perairan dapat masuk dalam rantai makanan dan

berpengaruh buruk pada organisme. Penggunaan fitoremediasi disebabkan sejumlah tanaman memiliki sifat menghilangkan logam berat. Logam tersebut diserap oleh akar, translokasi di dalam tubuh tumbuhan, dan lokalisasi logam pada jaringan, di dalam akar tanaman bisa melakukan perubahan pH kemudian membentuk suatu zat *khelat* yang disebut dengan *fitosidorof*. Zat inilah yang akan mengikat Fe, Zn, Cu dan Mn, kemudian di bawah ke dalam sel akar. Sedangkan lokalisasi logam pada jaringan untuk mencegah keracunan logam terhadap sel tanaman akan melakukan detoksifikasi misalnya menimbun logam ke dalam organ tertentu seperti akar.

Muramoto dan Oki dalam Neis, (1989) berdasarkan percobaannya di laboratorium, memperhitungkan dalam jangka waktu 16 hari tingkat penjerapan kadmium, timah hitam dan air raksa maksimal sebesar 17,7, 62,7 dan 105 mg/m². Ini merupakan percobaan-percobaan dimana batas peracunan dilampaui.

Pada penelitian khusus tentang kemampuan menyerap logam berat, eceng gondok ditempatkan dalam lingkungan yang mengandung konsentrasi logam berat sangat tinggi. Percobaan ini membuktikan bahwa eceng gondok merupakan tanaman yang sangat "keras". Dengan mempertahankan nilai batas yang biasa dipakai untuk bahan-bahan toksis, menurut pengetahuan yang didapatkan sampai sekarang, eceng gondok tidak akan musnah secara tiba-tiba. Akhirnya dalam penilaian secara keseluruhan, terbukti eceng gondok merupakan proses yang paling fleksibel dan efisien untuk membersihkan air limbah (Neis, 1989).

Moenandir dan Murgito (1992) dalam penelitiannya tentang kemampuan penjerapan logam berat oleh eceng gondok, ternyata eceng gondok dapat menyerap logam Pb, Mn dan Ni. Pada penelitiannya ternyata eceng gondok mengalami kejenuhan pada hari ke empat belas.

2. Penjerapan (Adsorpsi) Cd^{2+} pada Eceng Gondok

Adsorpsi adalah proses dimana atom, partikel atau molekul suatu zat terikat pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik menarik dari atom atau molekul pada lapisan bagian luar atau permukaan zat padat (Tan, 1982) Partikel, atom atau molekul yang ditarik disebut adsorbat (fasa teradsorpsi), sedangkan zat yang menariknya disebut adsorben.

Bila suatu kation (Cd^{2+}) dalam larutan mengadakan kontak dengan suatu medium penjerap (eceng gondok), maka timbul peristiwa adsorpsi-adsorpsi antara fase larutan dengan fase padat. Pada umumnya peristiwa ini bisa berlangsung sesaat dimana konsentrasi keseimbangan segera tercapai dan sesudah itu timbul adsorpsi kinetik yang tergantung pada waktu dimana konsentrasi dalam eceng gondok berubah hingga mendekati keadaan setimbang

Adsorpsi isothermal lazim dipakai untuk menyatakan hubungan antara konsentrasi zat terlarut dalam adsorben dan konsentrasi zat terlarut dalam larutan dalam keadaan setimbang. Sedangkan adsorpsi isothermal non linier yang paling sering digunakan adalah model Freundlich dan Langmuir (William dalam Rich, L.G, 1992)

a. Model Freundlich

Adsorpsi model Freundlich, dirumuskan dalam bentuk persamaan sebagaimana uraian berikut (Tan, 1990; William dalam Rich, L.G., 1992) .

Untuk data yang didapatkan dari hasil laboratorium (eksperimental) digunakan perhitungan berdasarkan pendekatan secara eksponensial, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$y = k + a b^x \dots\dots\dots (1)$$

keterangan :

x = waktu (hari)

y = konsentrasi Cd^{2+} (ppm atau mg/l)

Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara konsentrasi Cd^{2+} yang didapat dari data lapangan dan dari model yang didapat.

Untuk data pada percobaan dihitung dengan menggunakan formula non-linier dari Freundlich yaitu :

$$\frac{x}{m} = k C^{1/n} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

x = Cd^{2+} yang terjerap pada eceng gondok

m = jumlah adsorben eceng gondok (akar, batang dan daun) dalam basis kering

k,n = konstanta

C = konsentrasi Cd^{2+} di air pada hari ke 16

Adapun model kinetik (laju reduksi kontaminan Cd^{2+}) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\frac{x}{m} = k C^n t^m \dots\dots\dots (3)$$

Kemudian dari model-model yang didapat di analisa seberapa besar penyimpangannya

Model kesetimbangan Adsorpsi Isotermal

Isoterm kesetimbangan sorpsi, yaitu reaksi sorpsi yang diasumsikan telah tercapai setelah kontak 16 hari yaitu sorpsi instantaneous. Data dari hasil penelitian

menunjukkan bahwa isoterm kesetimbangan sorpsi tidak linear. Oleh karena itu isoterm kesetimbangan sorpsi dihitung dengan menggunakan formula non-linier dari Freundlich yaitu :

$$\frac{x}{m} = kC^{1/n} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

x = jumlah Cd^{2+} terjerap (mg/kg)

m = jumlah adsorben eceng gondok (mg) basis kering

Untuk memudahkan dalam menentukan harga konstanta k dan n, maka formula tersebut diubah menjadi bentuk logaritma, sehingga diperoleh bentuk persamaan linier sebagai berikut :

$$\text{Log } \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C. \dots\dots\dots (5)$$

Untuk mendapatkan konstanta n dan k dibuat grafik $\log \frac{x}{m}$ terhadap $\log C$ selanjutnya dengan membalikkan grafik logaritmik baik $\frac{x}{m}$ maupun untuk C maka didapat antilogaritmiknya sehingga akan didapat persamaan adsorpsinya.

b. Model Langmuir

Persamaan adsorpsi Langmuir pada awalnya diturunkan untuk menerangkan adsorpsi gas pada permukaan bidang, namun juga digunakan secara luas untuk menerangkan adsorpsi ion-ion pada permukaan tanah. Persamaan Langmuir didasarkan kepada asumsi bahwa terjadi satu lapisan non molekuler yang terbentuk pada permukaan- permukaan zat padat . Bentuk persamaan Langmuir adalah sebagai berikut (William *dalam* Rich, L.G., 1992, Tan, 1982).

$$S = \frac{(S_m) \times (bC)}{1 + bC} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

S_m = konsentrasi maksimum zat yang terjerap dalam fase padat (mg/kg);

B = konstanta kesetimbangan Langmuir.

Perbedaannya dengan persamaan Freundlich, terletak pada konsentrasi adsorbat yang sangat besar sehingga " bC " dalam persamaan mencapai suatu nilai yang mengakibatkan nilai " 1 " pada persamaan dapat diabaikan; sehingga persamaan Langmuir dapat diubah menjadi $S = S_m$. Dengan kata lain bila terjadi nilai C yang besar, permukaan adsorben menjadi jenuh dan proses adsorpsi mencapai maksimum.

2.2. Originalitas Penelitian

Penelitian tentang toksisitas logam berat memang bukan hal yang baru; demikian pula tentang penyerapan logam berat menggunakan eceng gondok. Namun penelitian terdahulu belum mengaitkan antara toksisitas dan kemampuan eceng gondok dalam menurunkan toksisitas. Selain itu penelitian sebelumnya dilakukan pada media air tawar untuk mengkaji toksisitas logam berat terhadap ikan air tawar. Demikian pula penelitian tentang penyerapan logam berat juga dilakukan pula pada media air tawar; sedang pada media air payau belum terdapat laporan hasil penelitiannya. Penelitian tentang penurunan toksisitas logam berat Cd terhadap ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) menggunakan eceng gondok pada media air payau sebagaimana dalam penelitian penulis belum pernah didapatkan laporan hasil penelitian sebelumnya.

Penelitian sejenis rata rata dilakukan pada media air tawar, sehingga ikan yang digunakanpun menggunakan ikan air tawar misalnya ikan mas, ikan mujahir ataupun ikan nila. Demikian pula penyerapan logam berat oleh eceng gondok juga

dilakukan di air tawar ; sedangkan konsentrasi logam berat tersebut dilihat pada air ujinnya. Akumulasi/konsentrasi logam berat pada eceng gondok dan fenomena transport serta pemodelannya belum terdapat laporan hasil penelitian tentang hal tersebut.

2.3. Hipotesis

Bertitik tolak dari tinjauan pustaka di atas dan dihubungkan dengan permasalahan yang timbul, dapat disusun hipotesis sebagai berikut :

1. Derajat toksisitas Cd yang dimanifestasikan sebagai LC 50 - 96 jam terhadap ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) dengan perlakuan eceng gondok di duga lebih tinggi dari pada tanpa perlakuan eceng gondok Dengan demikian berarti eceng gondok dapat menurunkan derajat toksisitas logam berat kadmium.
2. Kerusakan struktur mikroanatomi *branchia* dapat digunakan sebagai indikator untuk menentukan tingkat pencemaran yang terjadi
3. Besarnya konsentrasi Cd perlakuan mempengaruhi derajat mortalitas ikan uji.
4. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) dapat mengikat/ mengakumulasikan logam berat kadmium. Akumulasi Cd^{2+} pada akar, batang dan daun pada eceng gondok dapat digunakan untuk menjelaskan secara diskriptif terjadinya fenomena transport Cd^{2+} dalam eceng gondok serta model jerapannya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Bahan

Bahan penelitian yang digunakan adalah : ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forskal), senyawa CdSO_4 , air uji dari tempat asal pemeliharaan (air payau) makanan ikan bandeng, eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms), bahan-bahan kimia untuk analisis kualitas air dan AAS.

Ikan bandeng yang digunakan berukuran 5 - 6 cm panjang tubuhnya dan dengan berat badan antara 0,8 - 1,1 gram. diambil dari BPAP Jepara dan di adaptasikan dua hari di tambak Tugurejo, Jarakah, Semarang.

3.2. Alat

Alat-alat yang dipakai untuk penelitian adalah : bejana uji dari kaca/ akuarium volume 30 liter, akuarium volume 500 liter, timbangan (digital dan biasa), gelas ukur 1000 cc, saringan ikan dari nylon, alat pengukur panjang tubuh ikan (jangka sorong), kertas label, aerator mekanik (200V), termometer, pH meter, Salinometer, DO meter, kamera digital., pengaduk larutan, ember plastik volume 30 liter, Oven, kertas alumunium foil, ember plastik volume 80 liter, jerigen besar volume 50 liter.

3.3. Cara Kerja

Uji hayati (bioassay) dilakukan untuk menguji toksisitas akut Cd dilakukan dengan cara memodifikasi metode Rand (1980) dan Greenberg (1981) Pengujian

dilakukan secara statik selama 96 jam, dengan interval waktu pengamatan 24 jam.

Uji hayati statik dilakukan dalam 3 tahap, yaitu :

- a. Tahap pemeliharaan ikan uji
- b. Tahap aklimasi
- c. Tahap perlakuan

3.3.1. Tahap pemeliharaan ikan uji

Ikan uji dipelihara selama 15 hari di dalam bejana dari kaca berkapasitas air 500 liter, dan selama pemeliharaan diaerasi secukupnya untuk mempertahankan kadar oksigen terlarut. Sirkulasi air diatur dengan jalan menempatkan bejana pemeliharaan sedemikian rupa dan dihubungkan dengan selang plastik sehingga dapat terjadi aliran air keluar masuk bejana pemeliharaan. Setiap bejana diisi dengan ikan sebanyak 500 ekor.

Setiap hari dilakukan siphonisasi dan penggantian air uji sebanyak 40 – 60 % kapasitas total air bejana ; bila ada ikan yang mati atau sakit selama pemeliharaan harus diambil dari bejana untuk dipindahkan atau dibuang. Pemberian pakan dilakukan satu hari sekali.

3.3.2. Tahap aklimasi

Pada tahap ini dipersiapkan rangkaian bejana uji untuk 6 variasi kadar senyawa CdSO_4 yang akan diujikan termasuk kelompok kontrol. Setiap bejana diisi air uji sebanyak 10 liter dan kemudian setiap bejana uji ditebari 10 ekor ikan uji dengan secara acak. Ikan diaklimasi selama 4 hari sebelum kegiatan pengujian; dan 2 hari menjelang pengujian ikan dipuasakan.

Bila dalam 48 jam sebelum pengujian lebih dari 30 % hewan uji mati, harus diadakan aklimasi ulang; dan bila mortalitas hewan uji tidak melebihi 30 % kegiatan perlakuan dapat diteruskan.

Aklimasi juga dilakukan pada eceng gondok. Eceng gondok diambil dari tambak di sekitar pelabuhan Semarang. Kemudian diaklimasi di bak berkapasitas 30 liter. Dalam setiap bak diaklimasi 20 rumpun eceng gondok. Air yang digunakan untuk aklimasi berasal dari tambak lokasi tempat tumbuh eceng gondok. Aklimasi dilakukan dua hari. Eceng gondok yang digunakan untuk eksperimen dipilih yang kondisinya tetap segar/tidak layu selama diaklimasi.

3.3.3. Tahap perlakuan ikan uji

Perlakuan dilakukan atas dua tahap, yaitu uji pendahuluan dan uji sesungguhnya.

1. Uji Pendahuluan

Uji ini bertujuan untuk menentukan kadar ambang letal, yaitu ambang atas (LC 100 - 24 jam) dan ambang bawah (LC 0 - 48 jam).

Adapun langkah kerjanya sebagai berikut :

- Analisis kandungan air asal tempat pemeliharaan (air payau tambak bandeng).
- Semua bejana uji berkapasitas 30 liter diberi tanda secara acak dengan jalan undian untuk memperoleh kadar/ konsentrasi perlakuan (variasi kadar Cd SO_4).
- Menyiapkan 6 macam konsentrasi CdSO_4 masing-masing dengan 3 ulangan. Variasi konsentrasi ditentukan dengan berdasarkan basis angka 10, yaitu 10^{-1} , 10^0 , 10^1 , 10^2 , 10^3 ppm dan seterusnya. Selain itu juga disiapkan untuk kontrolnya.

- Tiap-tiap berjana uji diisi 10 - 15 liter air uji/ air payau tambak, tergantung pada berat total 10 ekor ikan yang digunakan sehingga di dalam setiap berjana uji dicapai biomassa kurang lebih 0,8 g/l (Tandjung, 1982).
- Pengujian dilakukan dengan sistem uji hayati statis, selama pengujian dilakukan aerasi. dengan aerator

2. Uji Sesungguhnya

a. Berdasarkan atas LC 0 - 48 jam (batas bawah) dan LC 100 - 24 jam (batas atas) dari hasil uji pendahuluan kemudian diadakan uji sesungguhnya. Variasi konsentrasi didasarkan pada skala Rand (1980) yang terdapat diantara angka-angka LC 0 - 48 jam dan LC 100 - 24.jam yang diperoleh dari uji pendahuluan. Proses pengujiannya sama seperti yang dilakukan pada uji pendahuluan.. LC 50 - 96 jam dihitung atas dasar mortalitas pada setiap konsentrasi uji selama 96 jam dengan analisis Probit (Finney, 1983, Moekasan & Koestoni 1985, Greenberg, 1981). Pada pengujian ini tolok ukur yang diamati adalah :

- 1) mortalitas ikan uji setiap 24 jam, selama 96 jam dan dihitung jumlah komulatifnya pada 96 jam. Mortalitas jumlah ikan uji yang mati dibagi dengan jumlah total semula kali 100 % pada setiap kadar perlakuan ;
- 2) tingkah laku ikan uji, yang meliputi aktivitas gerak, "ram jet ventilation", keadaan keseimbangan tubuh, perubahan warna kulit dan produksi mukus;
- 3) kualitas fisik dan kimia air uji meliputi suhu pH, DO, dan CO₂ setiap berjana perlakuan, setiap hari selama 96 jam;
- 4) struktur mikroanatomis branchia (insang) ikan bandeng sebagai indikator tingkat pencemaran.

- b. Kemudian dengan cara yang sama, tetapi menggunakan ikan dan akuarium/bejana uji yang lainnya dilakukan uji sesungguhnya untuk penentuan LC 50 - 96 jam CdSO_4 dengan menggunakan eceng gondok. Langkah kerjanya sama persis dengan uji (a) ; tetapi pada uji ini dalam setiap bejana uji/akuarium ditambahkan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*, (Mart.) Solms) sebanyak 5 rumpun (berat basah 950 gram). Penentuan kadar CdSO_4 juga sama persis dengan uji (a). Tolok ukur yang diamati sama pula. Untuk menentukan LC 50 - 96 jam pada uji (b) ini digunakan analisis Probit seperti uji (a). Pengujian toksisitas untuk uji sesungguhnya (a) maupun (b) dilakukan setelah perlakuan dengan eceng gondok selama 16 hari. Setelah perlakuan 16 hari dengan eceng gondok, baru ikannya dimasukkan ke bejana uji baik pada perlakuan tanpa eceng gondok maupun pada perlakuan dengan eceng gondok untuk mencari LC 50 – 96 jam tanpa perlakuan dengan eceng gondok dan LC 50 - 96 jam dengan perlakuan eceng gondok.
- c. Pengujian Kadmium dalam Eceng Gondok dan Air Uji dilakukan selama enam belas hari. Pada hari ke 16 dilakukan pengukuran Cd^{2+} tersisa dalam air uji pada masing masing perlakuan. Selain itu pengukuran dilakukan pada kontrol (konsentrasi 0 ppm). Pada hari ke nol, ke delapan, dan ke enam belas juga dilakukan pengukuran kadar residu Cd^{2+} terakumulasi pada eceng gondok, baik di akar, di batang maupun di daun pada masing masing konsentrasi perlakuan untuk dilihat fenomena transportnya. Pengukuran juga dilakukan pada kontrol.

3.4. Variabel Penelitian

3.4.1. Variabel Bebas

- Variasi konsentrasi uji/penelitian pendahuluan.
- Variasi konsentrasi perlakuan : 0 ppm, 135 ppm, 180 ppm, 320 ppm, 560 ppm, 750 ppm CdSO_4
- Variasi waktu lamanya eceng gondok mengakumulasi Cd^{2+} : 0 hari, 8 hari, 16 hari.
- Variasi tempat akumulasi Cd^{2+} : akar, batang, daun eceng gondok.
- Jumlah eceng gondok yang digunakan : 5 rumpun eceng gondok (950 gram berat basah).
- Lamanya waktu perlakuan CdSO_4 pada ikan : 4 hari

3.4.2. Variabel Terikat/Tergantung :

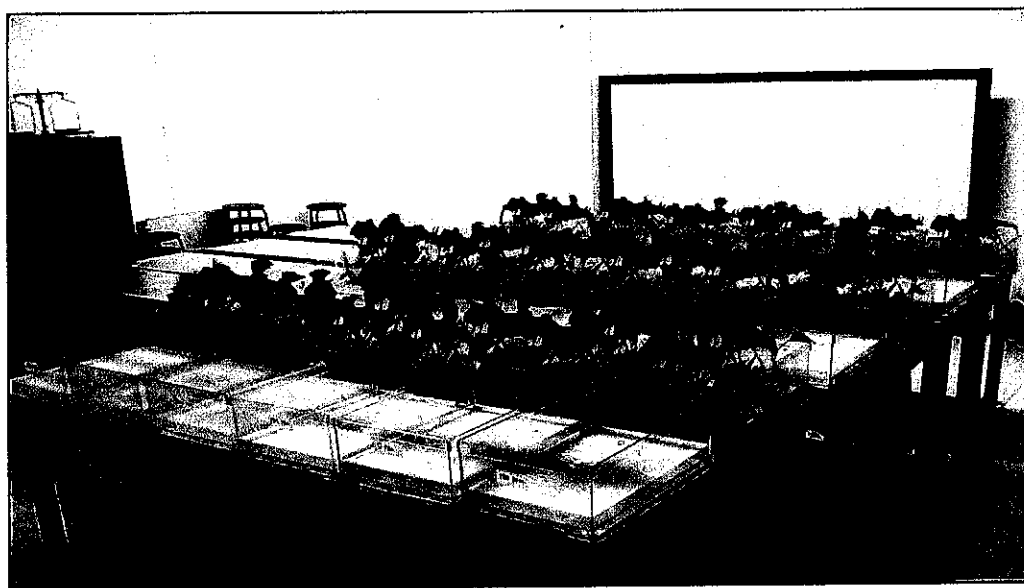
- Mortalitas ikan bandeng pada uji pendahuluan
- Mortalitas ikan bandeng pada perlakuan dengan eceng gondok
- Mortalitas ikan bandeng tanpa perlakuan eceng gondok
- Jumlah akumulasi senyawa Cd^{2+} pada akar, batang dan daun eceng gondok pada perlakuan 0 hari, 8 hari dan 16 hari.

3.5. Rancangan Penelitian

Rancangan percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap, penempatan bejana uji/akuarium dilakukan dengan secara acak dengan cara undian. Adapun rancangan tersebut digambarkan sebagai berikut :

Dgn EG 0 ppm	Dgn EG 135 ppm	Dgn EG 180 ppm	Dgn EG 320 ppm	Dgn EG 560 ppm	Dgn EG 750 ppm
Tnp EG 135 ppm	Tnp EG 0 ppm	Tnp EG 750 ppm	Tnp EG 560 ppm	Tnp EG 320 ppm	Tnp EG 180 ppm
Dgn EG 180 ppm	Dgn EG 320 ppm	Dgn EG 560 ppm	Dgn EG 750 ppm	Dgn EG 0 ppm	Dgn EG 135 ppm
Tnp EG 560 ppm	Tnp EG 750 ppm	Tnp EG 0 ppm	Tnp EG 135 ppm	Tnp EG 180 ppm	Tnp EG 320 ppm
Dgn EG 750 ppm	Dgn EG 560 ppm	Dgn EG 320 ppm	Dgn EG 180 ppm	Dgn EG 135 ppm	Dgn EG 0 ppm
Tnp EG 320 ppm	Tnp EG 180 ppm	Tnp EG 135 ppm	Tnp EG 0 ppm	Tnp EG 750 ppm	Tnp EG 560 ppm

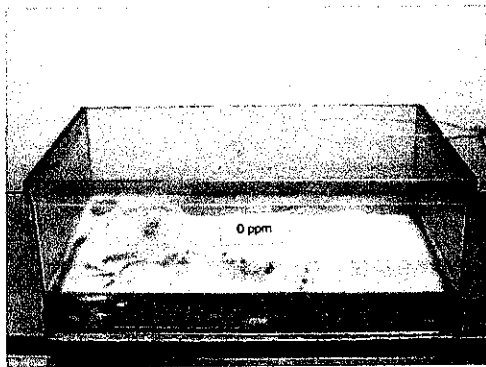
Gambar 1. Rancangan Penelitian



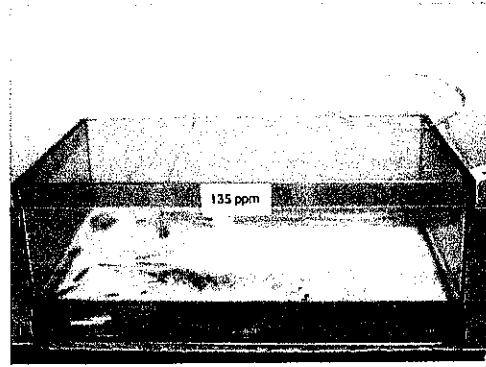
Gambar 2. Visualisasi Rancangan Percobaan



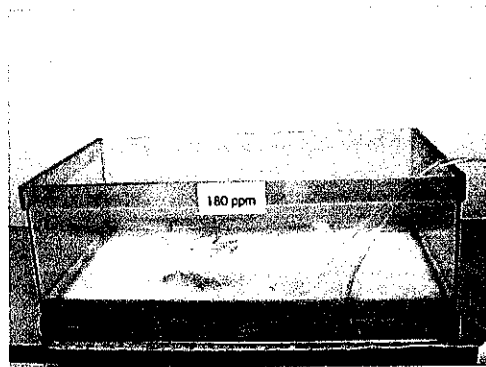
Gambar 3. Visualisasi Perlakuan dengan Eceng Gondok



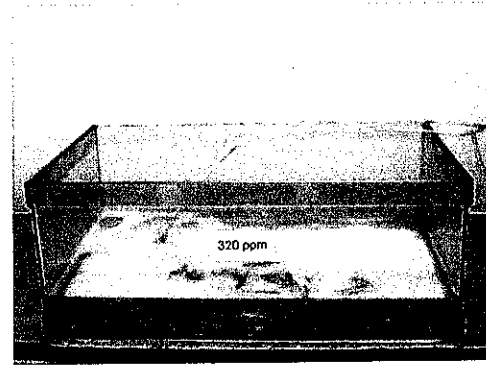
Konsentrasi 0 ppm



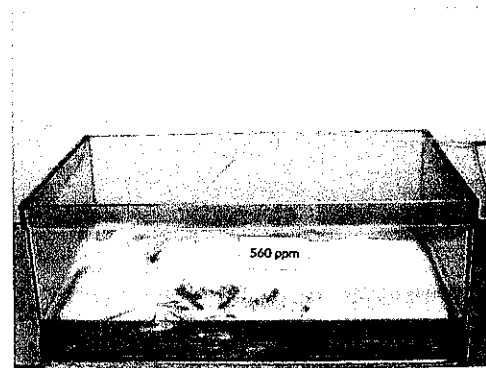
Konsentrasi 135 ppm



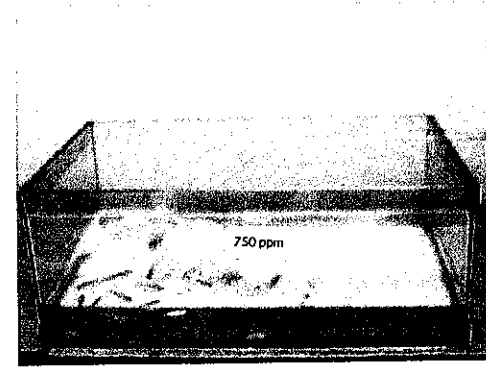
Konsentrasi 180 ppm



Konsentrasi 320 ppm



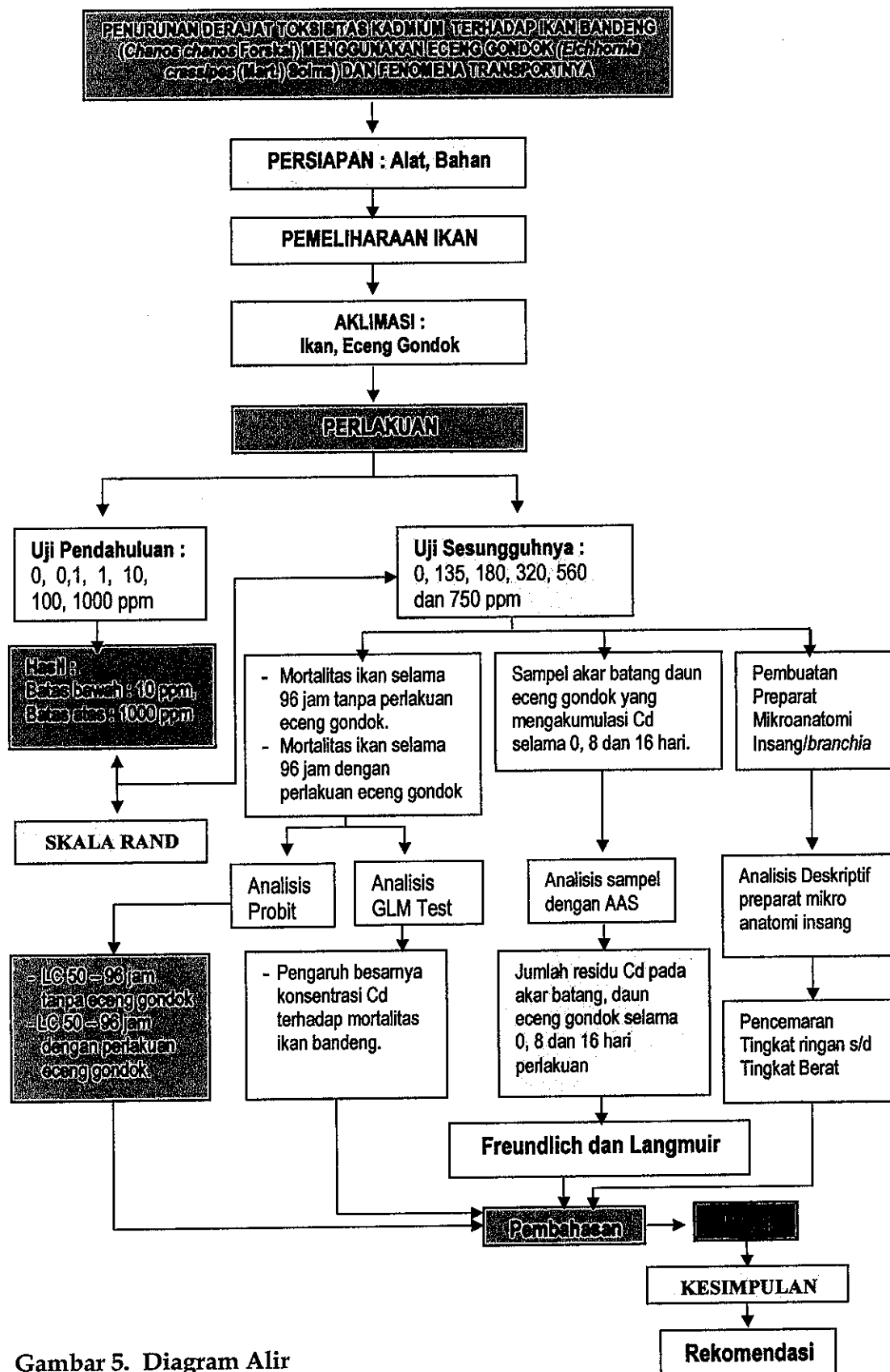
Konsentrasi 560 ppm



Konsentrasi 750 ppm

Gambar 4. Rancangan Uji Sesungguhnya

3.6. Langkah-langkah Penelitian/Pendekatan Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir

3.7. Analisis Data

Nilai LC 50 - 96 jam CdSO_4 terhadap ikan bandeng pada perlakuan tanpa dan dengan eceng gondok, masing-masing ditentukan dengan analisis probit (Greenberg, 1981 dan Finney, 1983). Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk menentukan ada tidaknya penurunan derajat toksisitas pada perlakuan dengan eceng gondok.

Analisis yang digunakan untuk melihat kerusakan struktur mikroanatomi *branchia* sebagai indikator pencemaran adalah analisis diskriptif dengan metode Tandjung (1982).

Analisis yang digunakan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi/kadar Cd tanpa dan dengan eceng gondok terhadap tingkat mortalitas ikan uji adalah analisis GLM (*General Linier Models*), dengan anova dua arah (*Two Way Classification*) (Steel and Torrie, 1980) dengan menggunakan SPSS.

Untuk mengetahui konsentrasi Cd^{2+} yang tertinggal di dalam eceng gondok (di akar, batang maupun daun) dan yang tersisa dalam air uji dilakukan analisis secara laboratoris dengan metode AAS.

Untuk mengetahui fenomena transport polutan di dalam eceng gondok dilakukan dengan cara dibuat suatu model adsorpsi linier Freundlich dari jumlah residu Cd^{2+} yang ada di akar, batang dan daun.

3.8. Waktu Dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Toksikologi Universitas Wahid Hasyim Semarang dan di Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang selama 4 bulan, mulai bulan Januari sampai dengan bulan Mei 2004.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Toksisitas Cd Terhadap Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forskal)

Berdasarkan pengamatan selama penelitian, diperoleh hasil mortalitas seperti pada tabel berikut (Tabel 1 dan 2).

Tabel 1. Mortalitas (%) ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) dalam penentuan toksisitas Cd selama 96 jam tanpa perlakuan eceng gondok (*Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms)

Perlakuan CdSO ₄	r	N	Kematian ikan (ekor) setelah				Mort. (%)
			24 jam	48 jam	72 jam	96 jam	
750 ppm	1	10	10	0	0	0	100
	2	10	10	0	0	1	100
	3	10	10	0	0	1	100
560 ppm	1	10	5	4	1	1	100
	2	10	4	3	2	0	90
	3	10	5	3	1	1	90
320 ppm	1	10	4	2	1	1	70
	2	10	3	3	1	1	80
	3	10	3	3	1	1	70
180 ppm	1	10	3	2	0	0	50
	2	10	2	1	0	0	30
	3	10	3	2	1	0	60
135 ppm	1	10	1	1	0	0	20
	2	10	1	1	0	0	20
	3	10	1	0	0	0	10
0 ppm	1	10	0	0	0	0	0
	2	10	0	0	0	0	0
	3	10	0	0	0	0	0

Keterangan : r = replikasi/ulangan
N = jumlah ikan pada tiap akuarium

Dengan menggunakan Analisis Probit (Lampiran Perhitungan 5) diperoleh nilai LC 50 - 96 jam sebesar 224,74 ppm.

Tabel 2. Mortalitas (%) ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) dalam penentuan toksisitas Cd selama 96 jam dengan perlakuan eceng gondok (*Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms)

Perlakuan CdSO ₄	r	N	Kematian ikan (ekor) setelah				Mort. (%)
			24 jam	48 jam	72 jam	96 jam	
750 ppm	1	10	7	2	0	0	90
	2	10	8	2	0	0	100
	3	10	8	1	0	0	90
560 ppm	1	10	5	2	1	1	80
	2	10	4	2	1	0	70
	3	10	3	3	1	1	60
320 ppm	1	10	3	1	1	1	50
	2	10	2	2	0	1	40
	3	10	2	2	1	1	50
180 ppm	1	10	1	1	1	0	30
	2	10	0	0	0	0	0
	3	10	1	1	0	0	20
135 ppm	1	10	0	0	0	0	0
	2	10	0	0	0	0	0
	3	10	0	0	0	0	0
0 ppm	1	10	0	0	0	0	0
	2	10	0	0	0	0	0
	3	10	0	0	0	0	0

Keterangan : r = replikasi/ulangan

N= jumlah ikan pada tiap akuarium

Untuk perlakuan dengan eceng gondok juga digunakan Analisis Probit (Lampiran perhitungan 6) diperoleh hasil LC 50 – 96 jam sebesar 343,45 ppm.

Berdasarkan nilai-nilai LC 50 – 96 jam yang diperoleh ternyata LC 50 – 96 jam Cd pada perlakuan tanpa eceng gondok lebih kecil daripada nilai LC 50-96 jam pada perlakuan dengan eceng gondok. Hal ini menunjukkan bahwa Cd lebih toksis terhadap ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) berukuran 5 - 6 cm, pada perlakuan tanpa eceng gondok (*Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms). Dengan kata lain derajat toksisitas Cd terhadap ikan bandeng dengan perlakuan eceng gondok lebih rendah/menurun dari pada tanpa perlakuan eceng gondok.

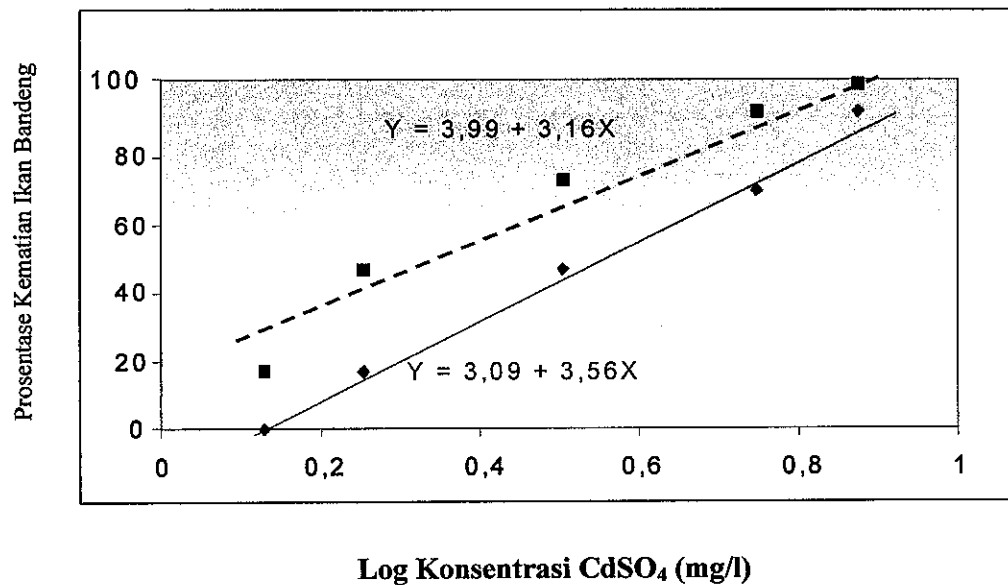
Penurunan toksisitas pada perlakuan dengan eceng gondok, diduga karena sebagian Cd^{2+} yang terlarut dalam air dijerap oleh eceng gondok sehingga jumlah Cd^{2+} yang meracuni ikan bandeng menjadi berkurang. Akibatnya toksisitas Cd^{2+} lebih rendah bila dibandingkan dengan perlakuan tanpa eceng gondok. Schwarz (1984) dalam Neis (1989) mengemukakan bahwa eceng gondok mampu membersihkan air yang tercemar; zat-zat yang dapat diserap dan disaringnya dari air antara lain logam-logam berbahaya seperti timah hitam, arsen, kadmium, serta pestisida.

Ion logam berat Cd^{2+} terlarut yang tidak terjerap oleh eceng gondok akan mudah masuk ke dalam tubuh ikan bersama air. Adanya toksikan yang masuk ke dalam tubuh ikan, ditandai dengan adanya respon ikan berupa pengeluaran mukus yang banyak pada permukaan *lamella* insang, sehingga permukaan respiratorik tertutup mukus dan respirasi ikan, terganggu. Oleh karena permukaan lamela tertutup mukus, *branchia* tidak dapat mengikat O_2 dan mengeluarkan CO_2 . Hal inilah yang diduga merupakan penyebab utama kematian ikan uji.

Pada kelompok perlakuan dengan Cd, ikan terlihat lebih aktif bergerak. Hal ini diduga merupakan manifestasi reflek menghindar pada ikan terhadap kondisi lingkungan yang memburuk akibat terkontaminasi oleh Cd. Padahal sejalan dengan hal ini respirasi ikan justru telah terganggu akibat adanya mukus yang menutupi permukaan lamela. Untuk bergerak ikan membutuhkan energi. Sementara itu, respirasi ikan yang terganggu mengakibatkan aktivitas ATPase terhambat sehingga tidak terjadi perombakan ATP menjadi ADP dan akibatnya energi baru tidak terbentuk (Anonymous, 1972). Kejadian ini diduga mengakibatkan daya tahan tubuh ikan menjadi menurun, sehingga sangat peka terhadap toksikan yang ada dalam lingkungan. Adanya Cd dalam kadar yang kecilpun sudah dapat mengganggu proses-proses kehidupannya yang berakhir dengan kematian ikan tersebut.

Howland (1975) mengemukakan bahwa Cd^{2+} dapat mengikat gugus sulfidril (SH) protein enzim serta mengganggu sintesis ATP mitokondria yang mengakibatkan terganggunya konservasi energi dalam sel. Diduga hal inilah yang menyebabkan ikan mati lemas karena tidak mampu bernafas.

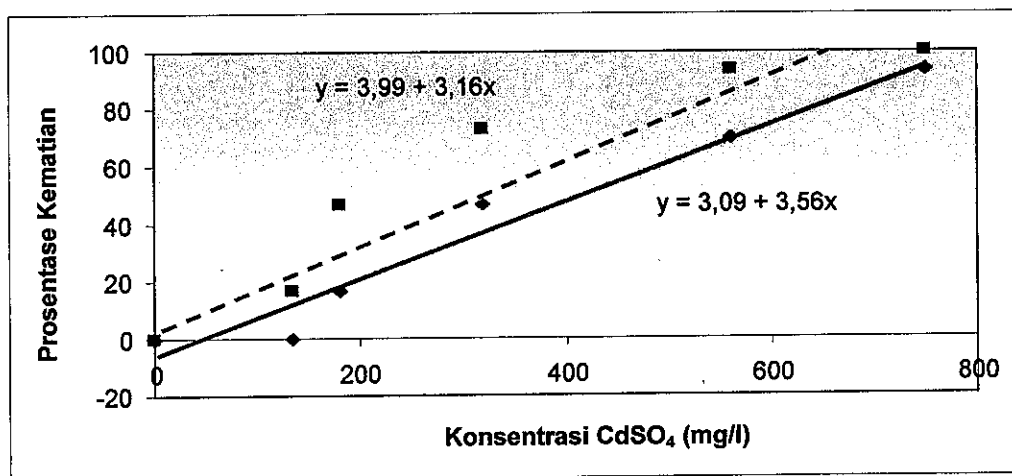
Persamaan model Probit adalah $Y = a + bx$, x = konsentrasi, Y = expected Probit/nilai yang diharapkan. Penurunan toksisitas yang terjadi dapat digambarkan sebagaimana terlihat pada gambar 6 dan 7. Persamaan garis p - lk (probit - log konsentrasi) $\hat{Y} = 3,99 + 3,16x$ (Gambar 6) menunjukkan hubungan antara log konsentrasi Cd terhadap nilai probit yang bersesuaian dengan % mortalitas terkoreksi ikan bandeng pada perlakuan tanpa eceng gondok. Persamaan garis p-lk (probit - log konsentrasi) $\hat{Y} = 3,09 + 3,56x$ (Gambar 6) menunjukkan hubungan antara log konsentrasi Cd terhadap nilai probit yang bersesuaian dengan % mortalitas terkoreksi ikan bandeng pada perlakuan dengan eceng gondok.



Gambar 6. Garis probit - log konsentrasi CdSO_4 pada perlakuan tanpa eceng gondok dan dengan eceng gondok

Keterangan :

- = garis probit - log konsentrasi tanpa perlakuan eceng gondok
 ————— = garis probit - log konsentrasi dengan perlakuan eceng gondok



Gambar 7. Hubungan antara konsentrasi CdSO_4 pada perlakuan tanpa eceng gondok dan dengan eceng gondok terhadap prosentase mortalitas ikan bandeng

Keterangan :

- = tanpa perlakuan eceng gondok
 ————— = dengan perlakuan eceng gondok

Dari persamaan dua garis tersebut tampak bahwa nilai LC 50 – 96 jam pada perlakuan dengan eceng gondok lebih besar dibandingkan nilai LC 50 – 96 jam pada perlakuan tanpa eceng gondok. Persamaan garis $Y = 3,09 + 3,56 x$, merupakan model yang menunjukkan bahwa dengan penambahan konsentrasi letal per satuan unit akan meningkatkan kematian ikan sebesar 3,56. Persamaan garis $Y = 3,99 + 3,16 x$, merupakan model yang menunjukkan bahwa dengan penambahan konsentrasi letal per satuan unit akan meningkatkan kematian ikan bandeng sebesar 3,16. Dari model tersebut didapatkan bahwa kematian ikan pada perlakuan dengan eceng gondok lebih kecil dibandingkan kematian ikan pada perlakuan tanpa eceng gondok pada konsentrasi Cd yang sama. Fenomena ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan toksisitas pada perlakuan dengan eceng gondok. Kemiringan garis bernilai positif ; berarti besarnya konsentrasi berpengaruh terhadap besarnya mortalitas. Dengan demikian pada perlakuan tanpa eceng gondok maupun dengan perlakuan eceng gondok mortalitas berbanding lurus dengan konsentrasi perlakuan. Semakin tinggi konsentrasi perlakuan semakin tinggi pula mortalitas ikan uji.

Mason (1981) mengatakan bahwa pengaruh selektif toksikan tidak hanya ditentukan oleh besarnya dosis dan lama waktu pemberiannya pada populasi, tetapi juga oleh faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi toksisitas seperti suhu, pH, konsentrasi oksigen terlarut, CO₂ bebas, kesadahan dan alkalinitas.

Hasil pengukuran parameter kualitas fisikokimia air selama uji toksisitas berlangsung disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kualitas Fisikokimia Air Uji Selama Penelitian *)

Parameter	Perlakuan (ppm) -	Hasil Pengukuran		Dasar Acuan Ambang Batas Untuk Kehidupan Ikan
		Tanpa Eceng Gondok	Dengan Eceng Gondok	
Suhu air (0c)	0	25,37	25,27	20 – 28° C (Albaster dan Lloyd, 1982)
	135	25,47	25,38	
	180	25,93	25,37	
	320	26,0	25,85	
	560	25,97	25,85	
	750	25,73	25,75	
PH	0	7,5	7,0	6,5 – 9,5 (Swingle, 1986 ; Armil, 1987)
	135	7,0	7,0	
	180	7,5	7,5	
	320	7,0	7,5	
	560	6,5	7,5	
	750	7,0	7,5	
DO (mg / l)	0	6,3	7,8	Minimal 5 mg/l (Alabaster dan Lloyd, 1982)
	135	6,2	7,5	
	180	6,1	7,4	
	320	5,1	7,5	
	560	5,5	7,1	
	750	5,5	7,2	
CO2 bebas (mg/l)	0	7,64	0,92	0 – 10 mg/l (Parkas <i>et al.</i> 1975 dalam Boyd, 1979)
	135	7,53	1,53	
	180	8,90	1,73	
	320	9,22	2,50	
	560	9,67	2,15	
	750	9,93	2,55	
Kesadahan (mg/l)	0	185	165,5	150 – 300 mg/l (Boyd, 1979)
	135	190	185,5	
	180	180	185,0	
	320	195	192,5	
	560	185	180,0	
	750	185	190,7	
Alkalinitas (mg/l)	0	70,40	65,25	20 – 300 mg/l (Boyd dan Lieckoppler, 1986)
	135	70,73	60,50	
	180	61,50	61,43	
	320	70,50	65,5	
	560	70,50	65,50	
	750	75,70	65,40	

*) Pada perlakuan tanpa eceng gondok dan dengan eceng gondok beserta dasar acuan ambang batas untuk kehidupan ikan menurut Albaster dan Lloyd (1982), Swingle (1986), Armil (1987), Boyd (1976), Boyd dan Leckopper (1986)

Pada tabel 3 di atas, kisaran nilai kualitas fisikokimia air uji yang diperoleh dalam pengukuran selama penelitian tanpa eceng gondok dan dengan eceng gondok apabila dibandingkan dengan nilai ambang batas parameter kualitas fisikokimia perairan untuk kehidupan ikan ternyata kualitas fisikokimia air uji pada umumnya masih berada dalam kisaran yang layak bagi kehidupan ikan menurut Alabaster dan Lloyd (1982), Swingle (1986), Armil (1987), Boyd (1976), Boyd dan Leckopper (1986). Dengan demikian dalam penelitian ini kualitas air uji secara umum dapat dianggap tidak mempengaruhi toksisitas, atau berarti kematian ikan terutama adalah akibat sifat toksik Cd. Pada perlakuan tanpa eceng gondok, tampak jumlah CO₂ bebas yang terdapat dalam air uji lebih tinggi dibandingkan jumlah CO₂ pada perlakuan dengan eceng gondok. Tingginya CO₂ ini diduga mengakibatkan ikan lebih sensitif terhadap racun yang terlarut (dalam hal ini Cd), sehingga mempertinggi mortalitas ikan uji pada kelompok perlakuan tanpa eceng gondok. Pada perlakuan tanpa eceng gondok, kadar CO₂ bebas cukup tinggi karena CO₂ sebagai hasil respirasi ikan tidak digunakan untuk fotosintesis karena tidak terdapat eceng gondok. Sementara itu pada perlakuan dengan eceng gondok sebagian CO₂ termasuk yang berasal dari aktivitas respirasi ikan dimanfaatkan untuk fotosintesis, sehingga kadar CO₂ dalam air uji lebih rendah.

4.2. Pengaruh Toksik Cd Terhadap Ikan Bandeng (*Chanos Chanos* Forskal)

4.2.1. Pengaruh Patofisiologik

Pengaruh patofisiologik Cd terhadap ikan antara lain ditunjukkan oleh perubahan tingkah laku ikan, berupa perubahan aktivitas gerak, keseimbangan tubuh, *ram jet ventilation*, produksi mukus dan perubahan warna morfologik.

CdSO_4 dengan kadar 135 ppm – 750 ppm selama uji toksisitas, dapat menimbulkan perubahan tingkah laku bila dibandingkan dengan ikan kontrol. Pada awal pendedahan, ikan-ikan pada konsentrasi tersebut tampak langsung bergerak lebih aktif, berenang naik ke atas, berputar di tengah media dan menunjukkan gerakan-gerakan tidak teratur. Gejala ini diduga merupakan suatu manifestasi gerak menghindar pada ikan, sebagai reaksi terhadap kualitas lingkungan yang memburuk. Gerakan yang tidak teratur diduga juga menunjukkan bahwa pusat kontrol keseimbangan mulai terganggu.

Empat puluh lima menit setelah perlakuan, ikan-ikan uji mulai mengeluarkan mukus yang terlihat jelas pada bagian *branchia*, ujung sirip dan permukaan tubuhnya. Mukus yang dikeluarkan diduga merupakan reaksi terhadap rangsangan logam berat kadmium, yang bersifat iritatif terhadap organ-organ tubuh yang bersentuhan dengannya.

Branchia merupakan salah satu organ utama yang bersentuhan langsung dengan logam berat kadmium. Sekresi mukus pada *branchia* dimaksudkan untuk melindungi *lamela branchia* dari bahan pencemar yang mengganggu, tetapi akibatnya menjadi barier fisik yang menghambat pertukaran gas dan ion melalui membran sel epitel lamela. Ikan mulai berenang tidak teratur, dan sebagian ikan akhirnya tergeletak di dasar bejana dalam keadaan miring.

Mukus yang dihasilkan selanjutnya membentuk gumpalan kecil terlepas ke perairan, mengakibatkan perairan tersebut menjadi keruh, terutama pada perlakuan Cd dengan konsentrasi tinggi. Persenyawaan antara logam berat Cd dengan mukus diduga membentuk ikatan yang tidak larut dalam air sehingga makin menutup

permukaan *branchia*. Akibatnya frekuensi respirasi makin meningkat (Tabel 4 dan 5). Peningkatan frekuensi respirasi ini justru selanjutnya meningkatkan pula introduksi Cd ke dalam tubuh ikan.

Menurut Hughes dan Nyholm (1978), *ram jet ventilation* adalah suatu keadaan ikan berenang cepat terus-menerus, cenderung melawan arus, mulut tetap terbuka dan operkulum terbentang. Kondisi ini dapat berlangsung terus-menerus atau diselingi oleh periode gerak pompa ritmik yang relatif pendek-pendek. Ikan yang terdedah CdSO₄ pada perlakuan tanpa eceng gondok mempunyai waktu *ram jet ventilation* berturut-turut 17 menit, 19 menit, 22 menit, 13 jam dan 15 jam setelah pendedahan, masing-masing untuk konsentrasi CdSO₄ 750 ppm, 560 ppm, 320 ppm, 180 ppm dan 135 ppm. Sementara itu pada perlakuan dengan eceng gondok, terjadi *ram jet ventilation* berturut-turut 23 menit, 26 menit, 28 menit, 14 jam dan 19 jam setelah pendedahan CdSO₄ masing-masing untuk konsentrasi 750 ppm, 560 ppm, 320 ppm, 180 ppm dan 135 ppm. Semakin tinggi konsentrasi yang didedahkan *ram jet ventilation* makin cepat terjadi. Hal ini diduga disebabkan semakin besar konsentrasi Cd yang terdedah, pernapasan ikan akan semakin terganggu sehingga frekuensi respirasi ikan akan semakin meningkat. Terganggunya proses respirasi pada ikan menyebabkan terjadinya adaptasi fungsional kerja respirasi dengan cara memasukkan air sebanyak-banyaknya ke dalam tubuh. Adaptasi terhadap lingkungan ini dilakukan dengan cara membuka mulut lebar-lebar dan operkulum terbentang dengan maksud untuk memberikan kesempatan aliran air yang kontinyu untuk mengambil oksigen dari dalam air tersebut sebanyak-banyaknya.

Gejala akan terjadinya kematian ditandai dengan terbukanya mulut dan operkulum ikan secara terus-menerus, yang disebut terjadinya *ram jet ventilation*.

Keadaan ini diikuti dengan terjadinya kelumpuhan otot-otot *abductor* dan *adductor* akibat persentuhan otot-otot tersebut dengan Cd, sehingga proses membuka dan menutup operkulum tidak berlangsung. Selanjutnya gerakan ikan semakin melemah dan akhirnya ikan tergeletak di dasar bejana.

Terjadinya peningkatan frekuensi pernapasan selama penelitian ini (tabel 4 dan 5), menunjukkan bahwa ikan mula-mula berusaha meningkatkan pemasukan oksigen. Tubuh ikan terlihat tersentak-sentak, yang diduga merupakan reaksi reflektif dalam usaha membersihkan polutan di permukaan tubuh, yang merupakan senyawa antara mukus dan partikel logam berat Cd, yang antara lain menutup permukaan *branchia*.

Tabel 4. Frekuensi pernapasan ikan selama pengujian dengan Cd tanpa perlakuan eceng gondok.

Perlakuan (mg/l)	Rata-rata frekuensi pernapasan/menit setelah				
	0 jam	24 jam	48 jam	72 jam	96 jam
750	36	38	47	61	84
560	32	36	43	55	79
320	25	31	39	47	70
180	23	28	35	43	62
135	21	24	30	40	53
0	18	19	26	32	39

Tabel 5. Frekuensi pernapasan ikan selama pengujian dengan Cd dengan perlakuan eceng gondok.

Perlakuan (mg/l)	Rata-rata frekuensi pernapasan/menit setelah				
	0 jam	24 jam	48 jam	72 jam	96 jam
750	33	36	39	57	76
560	29	33	38	51	72
320	24	28	34	44	63
180	21	25	27	40	55
135	19	22	23	33	48
0	17	18	21	23	34

Warna morfologik ikan perlakuan menjadi lebih gelap, dibandingkan dengan ikan kontrol. Perubahan warna ini terlihat pada semua konsentrasi Cd, baik pada perlakuan dengan eceng gondok maupun tanpa eceng gondok. Semakin tinggi konsentrasi Cd perubahan warna sisik pada ikan semakin jelas (semakin gelap). Hal ini terjadi pada perlakuan dengan eceng gondok maupun tanpa eceng gondok.

Perubahan warna morfologik ikan yang terutama terlihat pada sisik tersebut diduga disebabkan oleh adanya penyebaran butir-butir pigmen dalam *chromatophora* akibat persentuhan langsung dengan polutan Cd. Dalam *chromatophora* pembentuk warna hitam yang disebut *melanophora*, terdapat butir-butir pigmen berwarna hitam (melanin) (Lagler et al., 1977). Warna gelap yang terjadi merupakan akibat penyebaran melanin di seluruh bagian sel, atau mungkin akibat terhamburnya melanin ke luar sel akibat lisisnya membran sel.

Fujii (1969) dalam Tandjung (1982) menyatakan bahwa penyebaran *melanin* dan *melanophora* dikontrol oleh *Melanocyte – stimulating hormone* (MSH), yang memerlukan ketersediaan ion Na dalam perairan. Adanya Cd^{2+} dalam perairan, diduga menyebabkan kerusakan membran sel *melanophora* akibat persentuhan langsung dengan Cd^{2+} , sehingga butir-butir melanin yang semula terkonsentrasi menjadi tersebar.

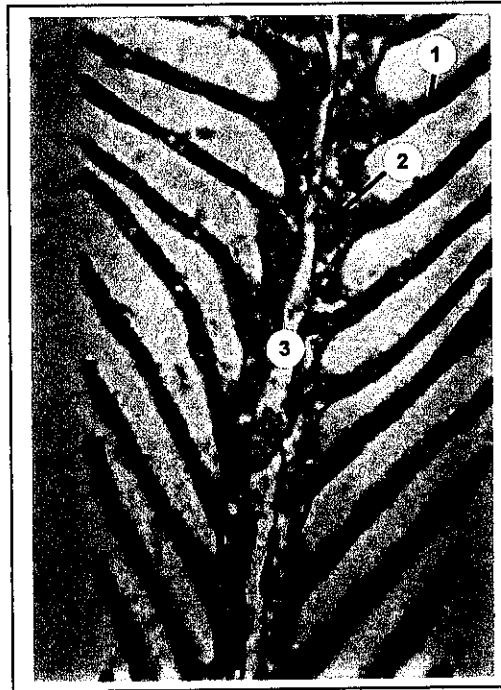
4.2.2. Pengaruh patomorfologi

Pengaruh patomorfologi suatu bahan pencemar terhadap ikan merupakan salah satu parameter pengaruh subletal bahan pencemar terhadap ikan, yang dapat di pelajari baik pada bentuk luar maupun secara histologik dan sitologik (Mitrovic, 1972).

Untuk keperluan ini dibuat sediaan mikroanatomi organ-organ tubuh yang diambil dari ikan yang masih hidup setelah 96 jam perlakuan, yaitu *branchia*. Perubahan struktur mikroanatomi *branchia* dapat digunakan sebagai indikator tingkat pencemaran dilingkungan dari mulai terjadinya kontaminasi, pencemaran tingkat ringan sampai pencemaran tingkat berat.

Pada *branchia* kelompok kontrol tampak *lamela sekunder* yang berderet memanjang dan tersusun secara berselang-seling antara sisi filamen yang berlawanan. Permukaan *lamela sekunder* dilapisi oleh epitel pipih selapis yang masih utuh, inti terpulas biru tua, *sitoplasma* merah muda. Di bawah lapisan *epitel* terdapat kapiler darah yang disokong oleh *sel pilaster*. Pada bagian tengah *filamen* (*filamentum branchiale*) terdapat pembuluh darah yang bercabang ke *lamela*

sekunder, di dalam kapiler darah banyak sel darah merah (*eritrosit*). *Eritrosit* berbentuk oval dengan inti terpulas biru tua, sitoplasma merah muda. *Sel pilaster* berbentuk *ireguler* dengan inti terpulas biru dan *sitoplasma* merah muda lebih terang. Di antara bagian *basal dua lamela sekunder* terdapat *sel-sel basal* (gambar 8 dan 9).

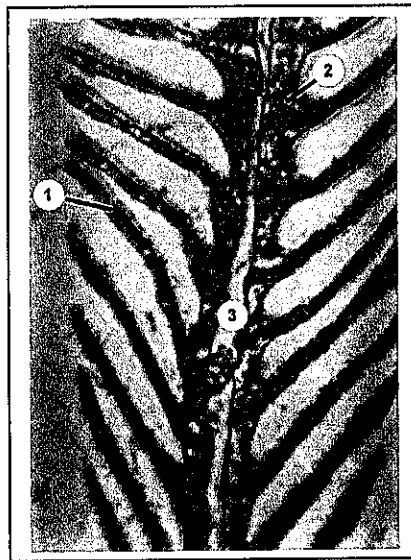


Gambar 8. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) kontrol, tanpa perlakuan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 Jam

Tebal irisan : 6 mikron
 Pemulasan : HE
 Perbesaran lensa : 10 x 100

Keterangan gambar :

1. Lamela sekunder
2. Sel basal
3. Lamela primer



Gambar 9. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) kontrol, dengan perlakuan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 Jam

Tebal irisan : 6 mikron
 Pemulasan : HE
 Perbesaran lensa : 10 x 100

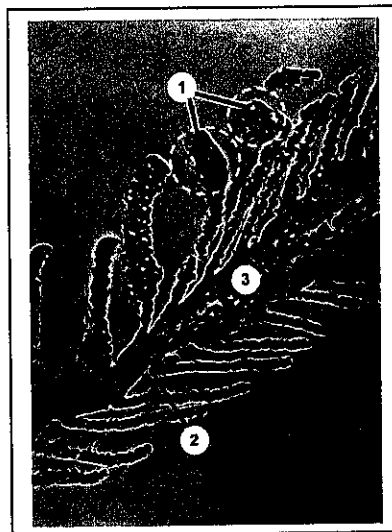
Keterangan gambar :

1. Lamela sekunder
2. Sel basal
3. Lamela primer

Branchia ikan kontrol pada perlakuan tanpa eceng gondok maupun dengan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) tersebut masih tampak normal. Hal ini diduga mengakibatkan semua ikan uji tetap bertahan hidup sampai akhir pengujian. Tidak adanya ikan uji yang mati selama pengujian (96 Jam), merupakan petunjuk bahwa kualitas fisikokimia air uji sesuai untuk kehidupan ikan.

Pada perlakuan dengan bahan pencemar Cd dengan konsentrasi 14,65 ppm Cd^{2+} (gambar 10 dan 11), sel-sel epitel pada bagian ujung dari lamela sekunder mengalami edema. Sel-sel eritrosit dan sel-sel basal tampak dalam keadaan normal.

Terjadinya perubahan struktur sel tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi kontaminasi tetapi belum ada pencemaran (Tandjung, 1982). Edema dapat mengganggu fungsi respiratorik ikan. Dengan terjadinya edema eritrosit menjadi mudah pecah dan berubah bentuk sehingga ikan yang mengalami degenerasi seperti ini dapat menderita *asphyxia* (kesulitan bernapas karena, kekurangan oksigen). Kejadian ini diduga menyebabkan kematian ikan. Menurut Anstall (1981) dalam Tandjung (1982), terjadinya edema dapat mengganggu fungsi *branchia*, yakni sebagai tempat transportasi utama, ion-ion yang diperlukan tubuh dan pertukaran gas respirasi.

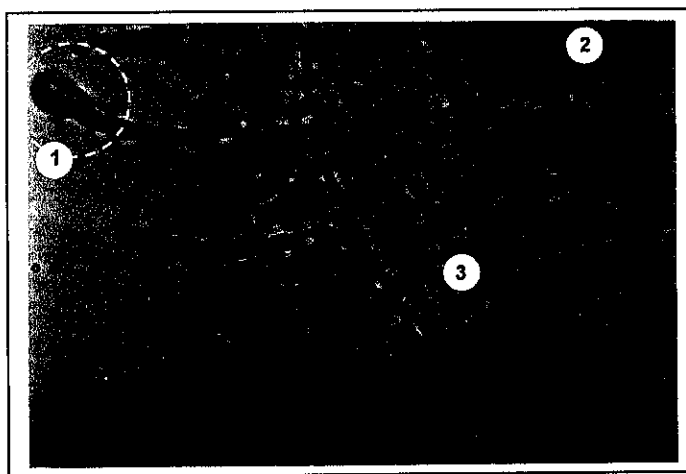


Gambar 10. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanoschanos* Forskal) pada perlakuan 14,65 ppm Cd^{2+} tanpa menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 jam

Tebal irisan : 6 mikron
 Pemulasan : HE
 Perbesaran lensa : 10 x 100

Keterangan gambar :

1. Lamela sekunder mengalami edema
2. Sel basal
3. Lamela primer



Gambar 11. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) pada perlakuan 14,65 ppm Cd^{2+} dengan menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 jam

Tebal irisan : 6 mikron
 Pemulasan : HE
 Perbesaran lensa : 10 x 100

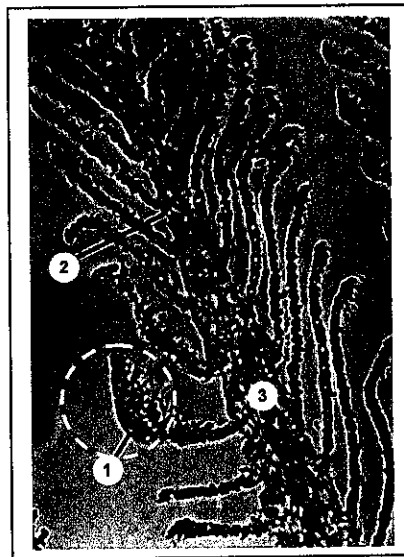
Keterangan gambar :

1. Lamela sekunder mengalami edema
2. Sel basal
3. Lamela primer
4. Lamela primer

Pada perlakuan dengan bahan pencemar Cd dengan konsentrasi 46,55 ppm Cd^{2+} (gambar 12 dan 13), sel-sel epitel yang melapisi lamela sekunder mengalami edema. Pada bagian yang lain lamela sekunder mengalami hiperplasia, sehingga sel epitel terlepas dari jaringan di bawahnya, namun demikian satu-satuan lamela yang saling berdekatan masih tampak jelas. Sel-sel basal Juga mengalami hiperplasia. Sel-Bel darah merah tampak keluar dari kapilernya, inti sel tersebut mengalami piknosis.

Gejala yang terjadi pada perlakuan dengan bahan pencemar Cd konsentrasi 14,65 ppm Cd^{2+} dan 46,55 ppm Cd^{2+} masing-masing menunjukkan bahwa telah

terjadi degenerasi *branchia* tingkat 1 dan 2. Degenerasi *branchia* tingkat 1 berupa terjadinya edema pada lamela, menandakan telah terjadi kontaminasi tetapi belum ada pencemaran. Degenerasi *branchia* tingkat 2 berupa terjadinya hiperplasia pada paskal lamela, merupakan gejala pencemaran (Tandjung, 1982).

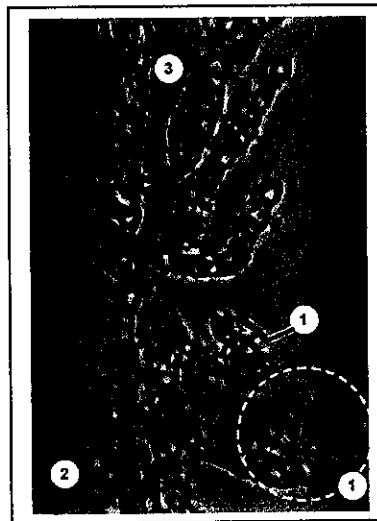


Gambar 12. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) pada perlakuan 46,55 ppm Cd^{2+} tanpa menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 jam

Tebal irisan	: 6 mikron
Pemulasan	: HE
Perbesaran lensa	: 10 x 100

Keterangan gambar :

1. Lamela sekunder dengan sel-sel epitel yang mengalami hiperplasia
2. Sel basal mengalami hiperplasia
3. Lamela primer



Gambar 13. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) pada perlakuan 46,55 ppm Cd^{2+} dengan menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 jam

Tebal irisan	: 6 mikron
Pemulasan	: HE
Perbesaran lensa	: 10 x 100

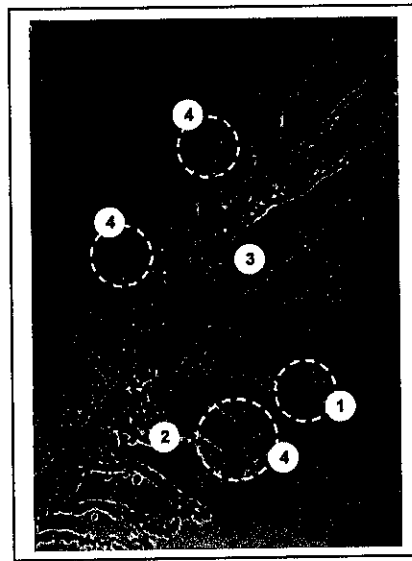
Keterangan gambar :

1. Sel epitel lamela sekunder mengalami hiperplasia
2. Sel basal mengalami hiperplasia
3. Lamela primer

Perlakuan dengan bahan pencemar konsentrasi 99,27 ppm Cd^{2+} tanpa dan dengan perlakuan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) (gambar 14 dan 15) menunjukkan bahwa pada bagian ujung lamela sekunder mengalami edema, sehingga sel pada kedua lamela tersebut tampak bersatu (terjadi fusi dua lamela). Pada lamela sekunder bagian yang lain terjadi akumulasi mukus yang menutupi permukaan lamela tersebut. Hal ini diduga mengakibatkan terjadinya gangguan respirasi Pada ikan uji. Tighe (1972) dalam Tandjung (1982) mengatakan bahwa edema merupakan pembengkakan abnormal sel-sel jaringan tubuh yang

menyebabkan batas-batas selnya berkurang jelas, sitoplasma menjadi lebih *opaque* dan *granuler* akibat membengkaknya mitokondria.

Dari gambar (14 dan 15) diketahui bahwa tingkat kerusakan yang terjadi ternyata tidak merata Pada setiap filamen *branchia*. Ada bagian yang kerusakannya lebih parah dibandingkan bagian yang lainnya. Demikian pula terjadinya akumulasi mukus, ternyata juga tidak merata pada setiap permukaan lamela sekunder. Kejadian tersebut diduga menyebabkan ikan masih mampu bertahan hidup, walaupun sebagian filamen *branchia* telah mengalami degenerasi struktural dan tertutup mukus.



Gambar 14. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) pada perlakuan 99,27 ppm Cd^{2+} tanpa menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 jam

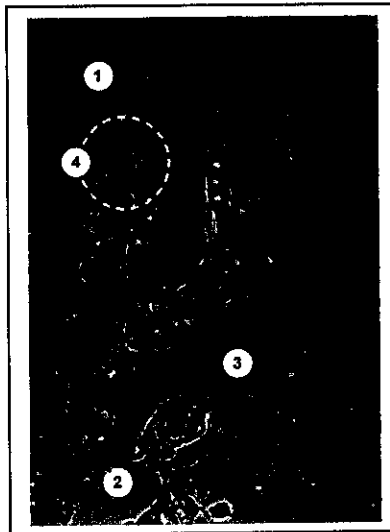
Tebal irisan : 6 mikron

Pemulasan : HE

Perbesaran lensa : 10 x 100

Keterangan gambar :

1. Lamela sekunder mengalami hiperplasia
2. Sel basal mengalami hiperplasia
3. Lamela primer
4. Fusi dua lamela



Gambar 15. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) pada perlakuan 99,27 ppm Cd^{2+} dengan menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 Jam

Tebal irisan : 6 mikron
 Pemulasan : HE
 Perbesaran lensa : 10 x 100

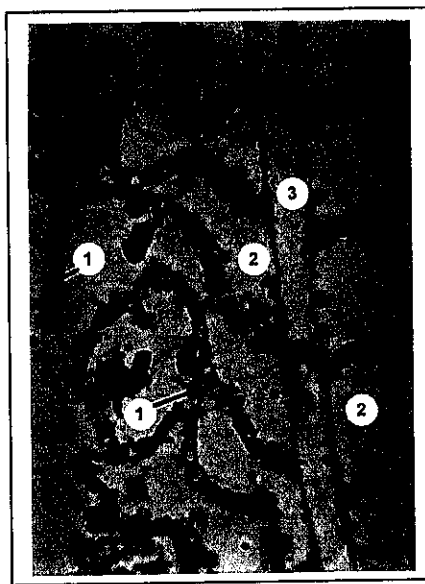
Keterangan gambar :

1. Lamela sekunder mengalami hiperplasia
2. Sel basal mengalami hiperplasia
3. Lamela primer
4. Fusi dua lamela sekunder

Gejala yang terjadi pada perlakuan 99,27 ppm Cd^{2+} tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi degenerasi *branchia* tingkat 3, yakni terjadi fusi dua lamela. Hal ini merupakan indikasi **pencemaran tingkat awal** (Tandjung, 1982).

Pada perlakuan dengan bahan pencemar Cd konsentrasi 234,38 ppm Cd^{2+} tanpa dan dengan perlakuan eceng gondok (gambar 16 dan 17) terlihat bahwa sel epitelium yang melapisi lamela sekunder mengalami hiperplasia, sehingga terlepas dari jaringan di bawahnya. Hiperplasia juga terjadi pada sel basal, sehingga menyebabkan beberapa lamela sekunder bersatu. Hiperplasia abnormal pada *branchia* diduga diakibatkan oleh persentuhan dengan ion-ion Cd, yang terutama

terjadi pada sel-sel masenkimal. Persentuhan tersebut mengakibatkan organ yang bersangkutan mengalami iritasi, dan mengeluarkan mukus sebagai perlindungan, terhadap toksikan (Cd). Namun mukus yang dihasilkan justru menutup permukaan lamela *branchia* sehingga pertukaran O₂ dengan CO₂ terhambat, akibatnya tidak ada pengikatan oksigen dengan Hb darah. Hal ini menyebabkan transportasi oksigen ke setiap bagian tubuh juga tidak ada, sehingga, jaringan tubuh mengalami *hipoksia* atau bahkan *anoksia*. Kejadian ini dapat menyebabkan ikan mati lemas karena kekurangan oksigen.

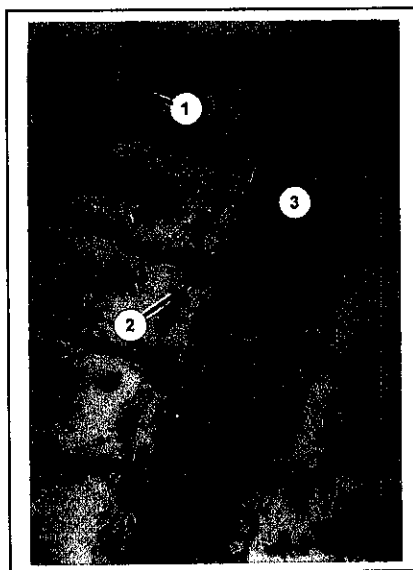


Gambar 16. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) pada perlakuan 234,38 ppm Cd²⁺ tanpa menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 Jam

Tebal irisan	: 6 mikron
Pemulasan	: HE
Perbesaran lensa	: 10 x 100

Keterangan gambar :

1. Sel epitel lamela sekunder mengalami hiperplasia, sehingga terjadi fusi beberapa lamela
2. Sel basal mengalami hiperplasia
3. Lamella primer mengalami hiperplasia



Gambar 17. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) pada perlakuan 234,38 ppm Cd^{2+} dengan menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 Jam

Tebal irisan : 6 mikron
 Pemulasan : HE
 Perbesaran lensa : 10 x 100

Keterangan gambar :

1. Sel epitel lamela sekunder mengalami hiperplasia
2. Sel basal mengalami hiperplasia
3. Lamela primer mengalami hiperplasia

Gejala yang terjadi pada perlakuan 234,38 ppm Cd^{2+} menunjukkan bahwa telah terjadi degenerasi *branchia* tingkat 4. Tandjung (1982) mengatakan bahwa terjadinya degenerasi *branchia* tingkat 4 ditandai dengan hiperplasia hampir pada seluruh lamela sekunder; kenyataan ini sebagai suatu isyarat bahwa telah terjadi pencemaran.

Pada perlakuan dengan bahan pencemar Cd konsentrasi 281,44 ppm Cd^{2+} tanpa dan dengan perlakuan eceng gondok (gambar 18 dan 19) tampak bahwa lamela sekunder maupun *filamentum branchialis* (lamela primer) sudah tidak menunjukkan

struktur normal. Terjadi fusi antar lamela diduga karena hiperplasia sel-sel basal dan sel epitel. Inti sel darah merah mengalami kariolisis. Perubahan struktur sel tersebut diduga mengganggu sistem respiratorik ikan sehingga mengakibatkan kematian. Akumulasi mukus yang terjadi di permukaan lamela sekunder diduga semakin memperberat terjadinya gangguan sistem respiratorik ikan, sehingga mendukung terjadinya kematian. Lauren (1984) mengatakan bahwa transport gas pernapasan dilakukan melalui epitel khusus yaitu lamela sekunder yang disebut epitel respiratorik, yang biasanya tipis disesuaikan dengan kepentingan pertukaran gas.

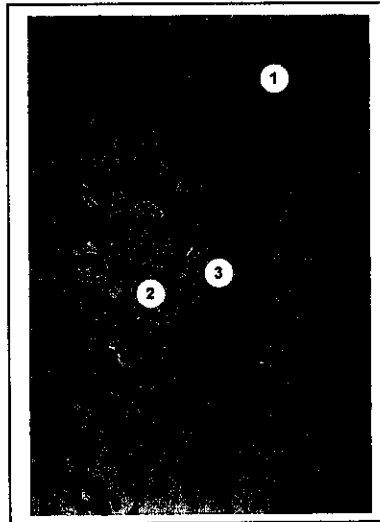


Gambar 18. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) pada perlakuan 281,44 ppm Cd^{2+} tanpa menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 Jam

Tebal irisan : 6 mikron
 Pemulasan : HE
 Perbesaran lensa : 10 x 100

Keterangan gambar :

1. Sel epitelium lamela sekunder mengalami hiperplasia sehingga terjadi fusi antar lamella
2. Sel basal mengalami hiperplasia
3. Lamela primer mengalami hiperplasia



Gambar 19. Potongan sagital *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) pada perlakuan 281,44 ppm Cd^{2+} dengan menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) selama 96 Jam

Tebal irisan : 6 mikron
 Pemulasan : HE
 Perbesaran lensa : 10 x 100

Keterangan gambar :

1. Sel epitelium lamela sekunder mengalami hyperplasia, sehingga terjadi fusi antar lamela
2. Sel basal mengalami hiperplasia
3. Lamela primer mengalami hiperplasia

Gejala yang terjadi pada perlakuan 281,44 ppm Cd^{2+} tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi degenerasi *branchia tingkat 5*, yakni berupa rusaknya atau hilangnya struktur *filamentum branchialis*. Kejadian ini merupakan petunjuk bahwa telah terjadi **pencemaran berat** (Tandjung, 1982).

Berdasarkan hasil pengamatan mikroanatomi *branchia* diketahui bahwa pencemar Cd dengan berbagai variasi konsentrasi, tanpa dan dengan perlakuan eceng

gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) dapat menyebabkan kerusakan seluler lamela sekunder *branchia* ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal). Namun kerusakan seluler yang terjadi pada perlakuan dengan eceng gondok tidak separah/ tidak sebanyak kerusakan seluler yang terjadi pada perlakuan tanpa eceng gondok. Kejadian ini diduga mengakibatkan mortalitas ikan pada perlakuan dengan eceng gondok lebih sedikit dibandingkan pada perlakuan tanpa eceng gondok. Kerusakan seluler pada perlakuan dengan eceng gondok tidak separah kerusakan yang ditimbulkan pada perlakuan tanpa eceng gondok; hal ini diduga akibat pengaruh eceng gondok yang mampu menyerap logam berat Cd, sehingga banyaknya senyawa Cd yang meracuni ikan bandeng tidak sebanyak pada perlakuan tanpa eceng gondok. Hasim (2002) mengatakan bahwa eceng gondok mampu membersihkan polutan logam-logam berat seperti Pb, Fe, Cd.

Ellis (1976) dalam Tandjung (1983) mengatakan bahwa kematian ikan akibat bahan pencemar dapat dibedakan berdasarkan jenis kerusakannya, yaitu :

1. Kematian ikan akibat *anoksemia* karena terganggunya. fungsi - fungsi respiratorik dan sirkulasi, serta fungsi ekskretorik pada *branchia*. Dalam hal ini substansi bahan pencemar hanya merusak struktur *branchia* tanpa terabsorpsi melewati *branchia*;
 2. Kematian ikan akibat aksi toksik spesifik bahan pencemar setelah terabsorpsi melalui *branchia*, mukosa mulut serta struktur organ yang lain;
 3. Kematian ikan akibat aksi toksik spesifik substansi bahan pencemar, setelah terabsorpsi melalui *tractus gastrointestinalis* bersama air yang tertelan oleh ikan.
- Berdasarkan pengamatan struktur mikroanatomi *branchia*, kematian ikan diduga karena jenis kerusakan tipe 1 dan 2.

Kerusakan *branchia* dari tingkat ringan hingga berat dirumuskan berdasarkan metode Tandjung (1982) sebagai berikut :

Tingkat 1 : Edema pada *lamella*, menandakan telah terjadi kontaminasi tetapi belum ada pencemaran;

Tingkat 2 : Hiperplasia pada pangkal *lamella*, merupakan gejala pencemaran;

Tingkat 3 : Fusi dua *lamella* (pencemaran tingkat awal);

Tingkat 4 : Hiperplasia hampir pada seluruh *lamella sekundaria*, telah terjadi pencemaran;

Tingkat 5 : Rusaknya atau hilangnya struktur *fillamentum branchia* (pencemaran berat).

4.3. Pengaruh Konsentrasi Cd Terhadap Mortalitas

Pengaruh besarnya konsentrasi Cd terhadap tingginya mortalitas ikan bandeng baik pada perlakuan tanpa eceng gondok maupun dengan eceng gondok diperoleh melalui analisis Varian dari *General Multiple Linier Model* (Lampiran 10)

Tabel 6 : Hasil analisis Uji Statistik Mortalitas Ikan Bandeng

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	50363,889	11	4578,535	74,921	,000
Intercept	77469,444	1	77469,444	1267,682	,000
KONS	46647,222	5	9329,444	152,664	,000
PERL	2669,444	1	2669,444	43,682	,000
KONS * PERL	1047,222	5	209,444	3,427	,018
Error	1466,667	24	61,111		
Total	129300,000	36			
Corrected Total	51830,556	35			

a R Squared = ,972 (Adjusted R Squared = ,959)

Berdasar hasil analisis varian sebagaimana tercantum pada Tabel 6, dapat diketahui bahwa ada perbedaan yang nyata (signifikan) besarnya konsentrasi Cd perlakuan terhadap mortalitas ikan uji (F hitung 152,664, dengan $\alpha < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi Cd berpengaruh terhadap mortalitas ikan uji. Berdasarkan analisis tersebut berarti H_a diterima dan H_o ditolak pada tingkat kepercayaan 95%

Hasil analisis menunjukkan perbedaan yang signifikan, maka dilanjutkan dengan uji LSD (*Least Significant Different*), dengan taraf signifikansi 95 % untuk membandingkan mean perlakuan dengan mean perlakuan yang lain, sehingga dapat diketahui perlakuan mana yang berbeda nyata (signifikan) dengan yang lain terhadap besarnya mortalitas ikan uji.

Hasil uji LSD terhadap besarnya mortalitas ikan uji (lampiran 10) menunjukkan bahwa pada perlakuan Cd tanpa dan dengan eceng gondok, beda nyata dengan taraf signifikansi 95 % terdapat pada konsentrasi 750 ppm, 560 ppm, 320 ppm dan 180 ppm. Sedangkan pada konsentrasi 135 ppm dan 0 ppm tidak berbedanya.

Berdasarkan analisis varian, semakin tinggi konsentrasi Cd perlakuan mean mortalitas semakin besar (lampiran 10). Hal ini menunjukkan bahwa besarnya konsentrasi pada perlakuan dengan eceng gondok dan pada perlakuan tanpa eceng gondok berpengaruh terhadap mortalitas. Kenyataan ini sejalan dengan hasil analisis Probit bahwa mortalitas berbanding lurus dengan konsentrasi; semakin tinggi konsentrasi Cd yang didedahkan semakin tinggi pula derajat mortalitas ikan bandeng yang terjadi. Keadaan ini diduga berkaitan erat dengan makin tingginya tingkat kerusakan organ respirasi. Semakin besar konsentrasi Cd yang didedahkan semakin tinggi pula tingkat kerusakan organ respirasi (*branchia*), sehingga semakin banyak pula ikan yang tidak dapat bertahan hidup (mati). Menurut Koeman (1987),

timbulnya efek toksik di dalam tubuh suatu jenis organisme oleh pengaruh suatu zat tergantung pada jumlah adanya zat tersebut pada bagian yang rentan di dalam tubuh. Alabaster dan Lloyd (1982) mengatakan bahwa logam berat dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh ikan terutama pada insang, hati dan ginjal, daging atau otot dan tulang. Lebih lanjut dikatakan bahwa akibat penambahan logam berat selain dapat berpengaruh terhadap kematian ikan juga menyebabkan kerusakan pada jaringan tubuh.

Kadmium dapat berikatan dengan gugus sulfidril (SH) protein enzim serta mengganggu sintesis ATP mitokondria yang mengakibatkan terganggunya konservasi energi dalam sel (Howland, 1975). Hal ini diduga menyebabkan ikan mati lemas karena adanya gangguan respirasi seluler.

Cd yang dijerap tubuh akan diikat oleh protein dengan berat molekul rendah yang disebut *thionein* membentuk gugus kompleks protein-logam *metallothionein* yang disintesa dalam hati. *Metallotionein* ini dipindahkan ke ginjal melalui peredaran darah. Pengikatan logam berat dalam *metallothionein* tersebut diyakini sebagai mekanisme untuk pertahanan dan perlindungan yang mencegah logam tersebut mempengaruhi protein protein penting dalam proses metabolisme tubuh (Laws, 1993).

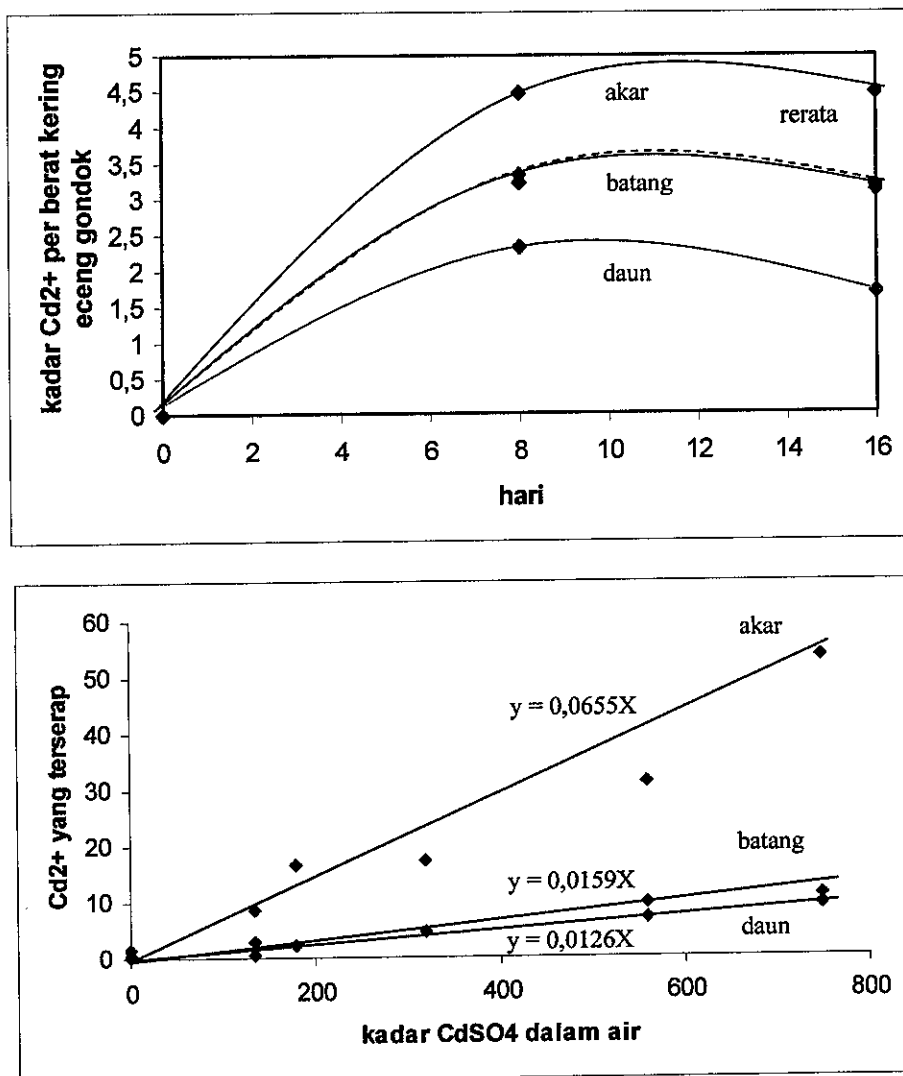
Friberg et al (1986) dalam Law (1993), mengemukakan bahwa Cd yang masuk kedalam tubuh ikan akan ditransportasikan ke seluruh tubuh melalui aliran darah. Seluruh organ tubuh menyerap Cd, namun konsentrasi tertinggi terdapat pada hati dan ginjal. Setelah pendedahan dalam kadar rendah dengan waktu yang lama Cd diakumulasi di otot/ daging ikan tersebut.

Penelitian Sanusi (1985) dalam Kariada (2001) menunjukkan bahwa akumulasi Cd pada hati dan ginjal ikan bandeng lebih besar dari pada yang terakumulasi pada ototnya. Hal ini diduga disebabkan oleh adanya pengaruh sejenis

metallotionein yang dijumpai lebih besar terdapat pada hati dan ginjal dari pada ototnya (Takeda dan Shimizu, 1982 dalam Sanusi, 1985).

4.4. Fenomena Transport Pada Eceng Gondok

4.4.1. Akumulasi Cd^{2+} Pada Akar, Batang, Dan Daun Eceng Gondok



Gambar 20. Laju penyerapan Cd^{2+} pada Akar, Batang dan Daun Eceng Gondok selama 16 hari

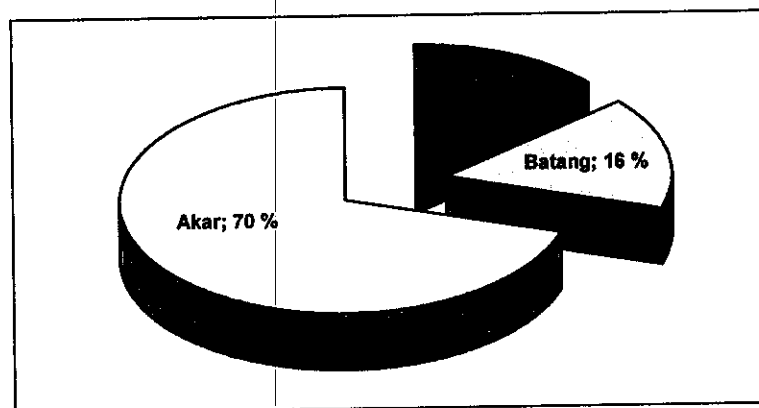
4.4.2. Prosentase Kandungan Cd^{2+} Pada Daun, Batang, Dan Akar Selama 16 hari

Berdasarkan laju penyerapan Cd^{2+} oleh akar, batang, dan daun eceng gondok diperoleh $y = 0,0655 X$ dengan $R^2 = 0,947$; $y = 0,0159X$ dengan $R^2 = 0,9719$ dan $y = 0,0126X$ dengan $R^2 = 0,9318$, maka prosentase kandungan Cd^{2+} dapat dijelaskan sebagai berikut :

Total Cd^{2+} terjerap $0,0655 + 0,0152 + 0,0126 = 0,0933$, sehingga prosentase akumulasi Cd^{2+} pada akar, batang dan daun dapat diketahui sebagaimana pada tabel 7 dibawah ini.

Tabel 7 : Prosentase Akumulasi Cd^{2+} pada Akar, Batang dan Daun Eceng Gondok

Bagian	% Cd^{2+}
Daun	$0,0126 / 0,0933 \times 100\% = 14\%$
Batang	$0,0152 / 0,0933 \times 100\% = 16\%$
Akar	$0,0655 / 0,0933 \times 100\% = 70\%$



Gambar 21 : Prosentase Akumulasi Cd^{2+} Pada Akar, Batang dan Daun Eceng Gondok.

Berat kering daun, batang dan akar masing – masing 7,71 gr, 8,31 gr dan 12,03 gr. Dengan demikian prosentase akumulasi Cd^{2+} dalam 1 gram berat kering eceng gondok adalah:

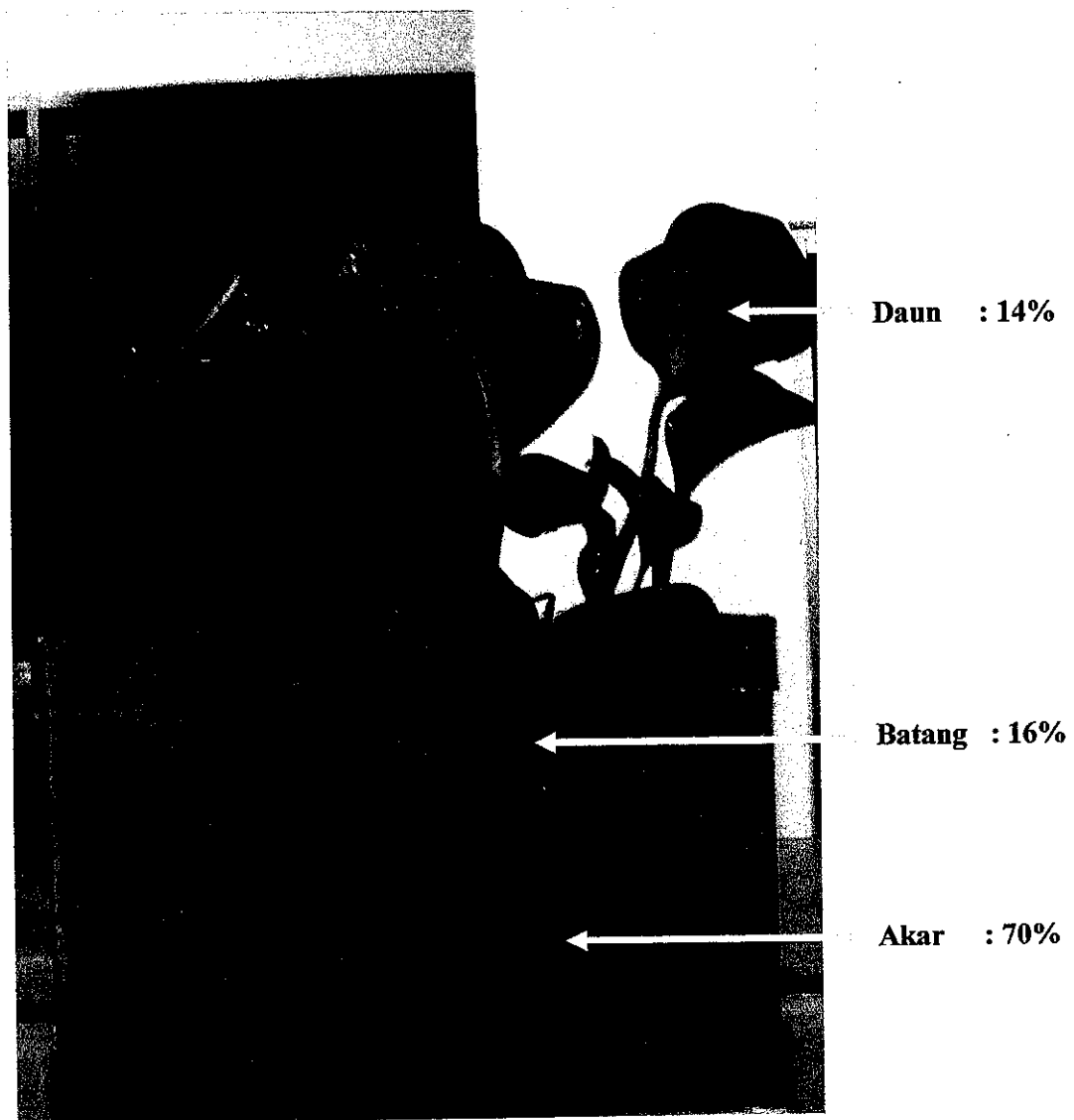
Akumulasi Cd^{2+} di daun = 14 % : 7,71 gram = 1,81 %/gram

Akumulasi Cd^{2+} di batang = 16% : 8,31 gram = 1,93 %/gram

Akumulasi Cd^{2+} di Akar = 70 % : 12,03 gram = 5,82 %/gram

Tabel 8. Proesentase akumulasi Cd pada Akar, Batang dan Daun Eceng Gondok selama 16 Hari

Bagian	% Cd^{2+}
Daun	1,81 % / gram
Batang	1,93 % / gram
Akar	5,82 % / gram



Gambar 22 : Prosentase Akumulasi Cd^{2+} pada Akar, Batang dan Daun Eceng Gondok

Hasil penelitian menunjukkan bahwa akumulasi Cd^{2+} di akar paling banyak (70%), batang (16%) dan daun paling sedikit (14%). Hal ini diduga karena akar merupakan bagian tanaman yang langsung kontak/bersinggungan dengan polutan (Cd^{2+}) sehingga ditinjau dari segi jarak akar paling dekat dengan kontaminan/polutan; sedangkan batang dan daun relatif lebih jauh. Sebagaimana dikatakan oleh Fitter dan Hay (1991) bahwa konsentrasi polutan di suatu tempat tergantung pada sejumlah besar faktor-faktor lingkungan termasuk jarak dari sumber polutan, topografi, curah hujan, radiasi matahari, arah dan kecepatan angin. Lebih lanjut dikatakan bahwa akar merupakan bagian tanaman yang dapat melakukan lokalisasi (ekstraseluler) terhadap senyawa toksik karena bagian akar mempunyai toleransi inheren yang tinggi dibandingkan bagian ujung tanaman. Dikatakan pula bahwa ion toksik non esensiil terutama Fe dan Cd disimpan di dalam akar.

Berdasarkan hasil penelitian terbukti bahwa ion Cd^{2+} tersebar merata di seluruh bagian tanaman, baik di akar, batang maupun daun. Fenomena ini menunjukkan bahwa ion Cd^{2+} mengalami transport dari akar menuju ke batang dan daun, mengikuti transport unsur hara bersama air. Terjadinya traslokasi/transport dari akar menuju ke daun dimungkinkan oleh adanya proses difusi, osmosis dan adanya daya kapilaritas serta daya isap daun dan tekanan akar. Fitter dan Hay (1991) lebih jauh mengatakan bahwa ion toksik yang masuk ke dalam tubuh tanaman akan berikatan dengan enzim-enzim pengikat ion toksik membentuk suatu *kelat*. Kemungkinan akibat pengikatan fraksi *pektik* dari dinding sel, ion toksik akan masuk dalam tanaman. Begitu ion melintasi *plasmolemma* maka ion akan menyebar merata ke bagian atas sehingga sampai ke daun. Penekanan keaktifan ion

toksik secara kimiawi dengan jalan membentuk kompleks dengan *malat*, sehingga ion toksik berkurang keaktifannya. Hal ini biasa terjadi pada tumbuhan yang resisten terhadap logam berat.

Woolhouse (1983) mengatakan bahwa tumbuhan dapat menjadi resisten terhadap ion toksik karena

a. Faktor *genetis*.

Resistensi genetis terjadi karena adanya satu *allel* atau lebih menjadi resisten pada tingkat populasi gulma di lapangan, sehingga *gen* toleran pada senyawa toksik akan muncul di alam.

b. Persaingan inter *species*.

Tumbuhan liar akan lebih tahan terhadap ion toksik dibandingkan tumbuhan yang telah mengalami seleksi. Hal ini disebabkan adanya proporsi perkecambahan biji pada suatu waktu, laju perkecambahan, keberhasilan dalam adaptasi dengan lingkungan, perbedaan fisiologis dalam laju pertumbuhan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa akumulasi Cd^{2+} di akar paling banyak, kemudian diikuti batang dan paling sedikit daun. Data hasil akumulasi dibagi dengan berat kering masing masing bagian tanaman (akar, batang, daun), ternyata jumlah akumulasi per berat kering yang terbanyak terdapat pada akar (5,82 %/gram), batang (1,93 %/gram) dan paling sedikit daun (1,81 %/gram). Hal ini menunjukkan bahwa sel sel batang mempunyai kemampuan adsorpsi lebih tinggi dibandingkan sel daun. Hal ini diduga karena faktor jarak terhadap sumber polutan, akar jaraknya paling dekat, diikuti batang dan daun. Semakin dekat dengan kontaminan akan mengakumulasikan paling banyak.

Permukaan batang tidak lebar sebagaimana luas permukaan daun. Daun yang lebar cenderung akan mentranspirasikan/menguapkan air lebih banyak dibandingkan batang yang luas permukaannya relatif sempit. Semakin banyak air yang diuapkan semakin banyak pula air yang diserap dan semakin banyak pula senyawa toksik yang terakumulasi. Disamping itu jaringan tubuh tumbuhan yang letaknya semakin jauh dari akar akan memiliki potensial air semakin kecil, sehingga potensial air pada jaringan daun akan lebih kecil dari jaringan batang dan lebih kecil dari jaringan akar. Semakin kecil potensial airnya semakin besar daya hisapnya, yang berarti kemampuan sel selnya dalam menyerap air/toksikan semakin besar sehingga besarnya akumulasi Cd^{2+} di daun mestinya lebih besar dari pada di batang. Namun kenyataannya akumulasi Cd^{2+} di batang lebih besar (1,93 %/ gram) dari pada di daun (1,81 %/gram). Hal ini dikarenakan berat kering batang (8,31 gram) lebih besar dari pada berat kering daun (7,71 gram). Sebagaimana dikatakan oleh Fitter dan Hay (1991) bahwa transpirasi mempunyai pengaruh besar terhadap absorpsi air, pengangkutan air, dan pengaturan suhu lingkungan luar maupun dalam tubuh tumbuhan, sedangkan pengangkutan air dan hara dalam xilem dipengaruhi oleh luas permukaan serta banyaknya pembuluh pada bagian tanaman. Semakin besar massanya diduga semakin banyak pembuluhnya sehingga akumulasinya juga semakin besar.

4.5. Pemodelan Kesetimbangan Adsorpsi

4.5.1. Adsorpsi Akar Eceng Gondok

Hasil penelitian tentang akumulasi Cd^{2+} selama 16 hari pada akar eceng gondok adalah sebagai berikut :

Tabel 9. Akumulasi Cd^{2+} (mg) selama 16 Hari Pada Akar Eceng Gondok Basis Kering

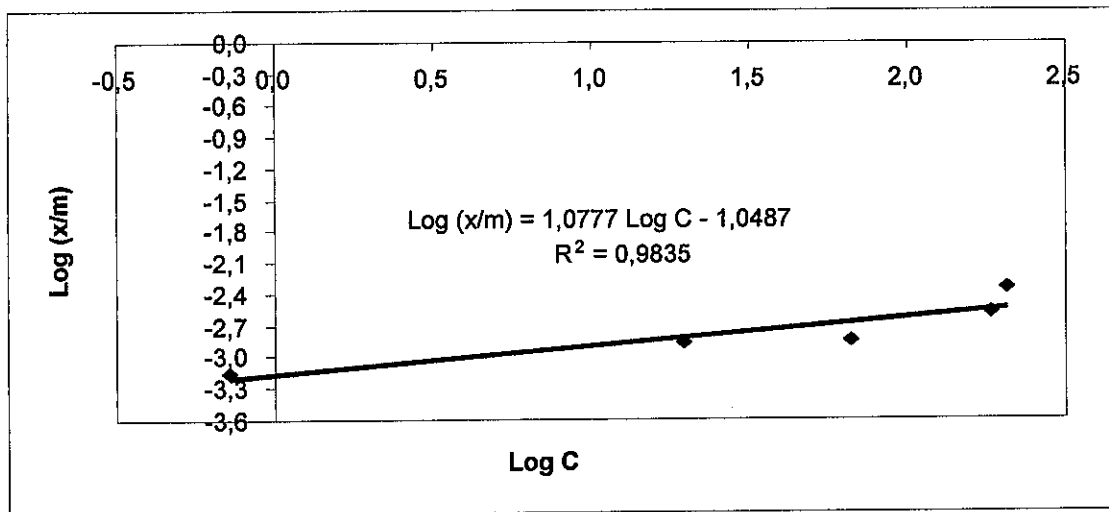
Konsentrasi CdSO_4 Waktu (hari)	0 ppm	135 ppm	180 ppm	320 ppm	560 ppm	750 ppm
0	1,823	1,823	1,823	1,823	1,823	1,823
8	1,823	5,712	6,716	7,596	8,963	28,643
16	1,823	10,334	18,546	19,064	33,096	55,502

Hasil Perhitungan jerapan akar terhadap Cd^{2+} akan tampak seperti dalam tabel berikut ini :

Tabel 10 : Perhitungan Model Adsorpsi Linier Freundlich dan Langmuir Jerapan Cemar Cd^{2+} oleh Akar Eceng Gondok

C (mg)	x (mg)	m (mg)	x/m
0,724	8,511	12030	0,001
19,774	16,723	12030	0,001
66,73	17,241	12030	0,001
184,62	31,273	12030	0,003
05,43	53,679	12030	0,004

Perhitungan secara lengkap lihat lampiran 16



Gambar 23. Grafik Hubungan Log (x/m) dan Log C Pemodelan Freundlich Jerapan Cd^{2+} oleh akar Eceng Gondok

Dari grafik di atas didapatkan model jerapan Cd^{2+} mengikuti persamaan regresi linear ;

$$\text{Log } x/m = 1,0777 \log C - 1,0487$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai – nilai model Freundlich sebagai berikut :

$$k = 0,01557$$

$$1/n = 1,0777$$

Sehingga didapatkan model Freundlich sebagai berikut :

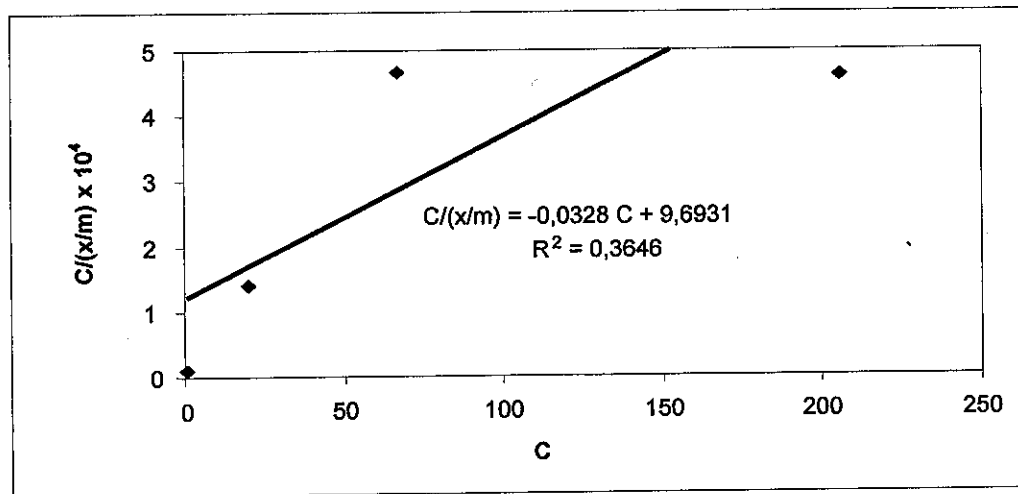
$$x/m = 0,01557C^{1,0777}$$

Persamaan ini menunjukkan perbandingan antara massa yang terjerap dengan massa penyerap sebanding dengan perkalian koefisien adsorpsi dengan konsentrasi setimbang dari cemaran. Kondisi ini dipertegas dengan adanya nilai korelasi sebesar 0,9835 yang menunjukkan tingkat signifikansi dari model, sehingga model tersebut bisa diterima sebagai model jerapan Cd^{2+} oleh eceng gondok pada akar.

Sedangkan dari perhitungan dengan menggunakan model Langmuir didapatkan persamaan regresi linear.

$$x/m = 0,103166C/(1-0,003384C)$$

Sesuai dengan gambar berikut :



Gambar 24 : Grafik Hubungan C (x/m) dan C Pemodelan Langmuir Jerapan Cd²⁺ oleh Akar Eceng Gondok

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa perbandingan massa yang terjerap dengan massa penyerap sebanding dengan konsentrasi maksimum zat yang terserap dalam fase padat. Persamaan regresi linear didapatkan

$$x/m = 0,103166C/(1-0,003384C)$$

Konstanta model Langmuir dari persamaan tersebut :

$$S_m = -30,486$$

$$b = -0,003384$$

Nilai korelasi dari persamaan tersebut adalah 0,3646 sehingga persamaan tersebut tidak bisa diterima sebagai model.

Mengingat tingkat signifikansi model Langmuir sangat kecil, maka dapat disimpulkan fenomena jerapan mengikuti model Freundlich.

4.5.2. Batang Eceng Gondok

Hasil penelitian tentang akumulasi Cd^{2+} selama 16 hari pada batang eceng gondok disajikan pada tabel berikut;

Tabel 11. Akumulasi Cd^{2+} (mg) Selama 16 Hari dalam Batang Eceng Gondok Basis Kering

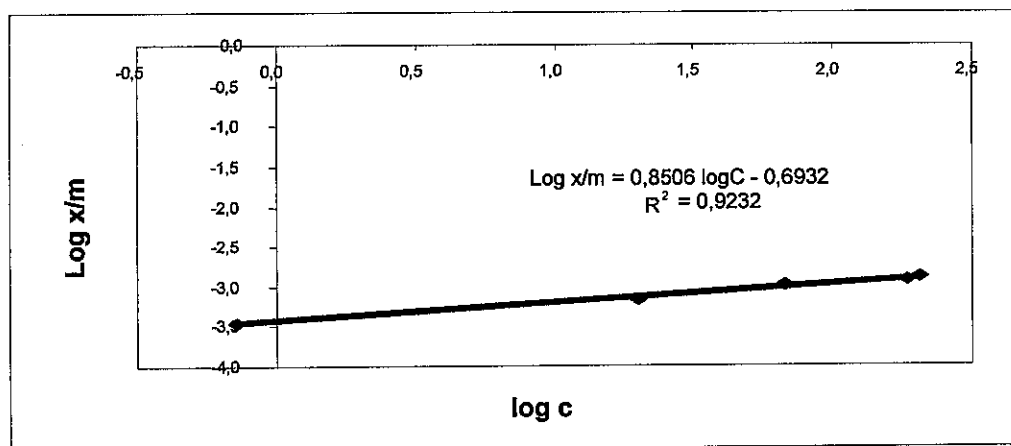
Konsentrasi CdSO_4 Waktu (hari)	0 ppm	135 ppm	180 ppm	320 ppm	560 ppm	750 ppm
0	0,732	0,732	0,732	0,732	0,732	0,732
8	0,732	0,975	3,659	5,542	6,235	6,586
16	0,732	3,726	6,491	9,485	10,628	11,829

Adapun hasil perhitungan jerapan akar terhadap Cd^{2+} akan tampak seperti dalam tabel berikut ini.

Tabel 12 : Perhitungan Model Adsorpsi Linier Freundlich dan Langmuir Jerapan cemaran Cd^{2+} oleh Batang Eceng Gondok

C (mg)	x (mg)	m (mg)	x/m
0,724	2,994	8310	0,000
19,774	5,7589	8310	0,001
66,73	8,753	8310	0,001
184,62	9,796	8310	0,001
205,43	11,098	8310	0,001

Perhitungan secara lengkap lihat lampiran 17



Gambar 25 : Grafik Hubungan Log (x/m) dan Log C Pemodelan Freundlich Jerapan Cd^{2+} oleh Batang Eceng Gondok

Dari grafik di atas didapatkan model jerapan Cd^{2+} mengikuti persamaan regresi linear

$$\text{Log } x/m = 0,8506 \log C - 0,6932$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai – nilai model Freundlich sebagai berikut :

$$k = 0,019127$$

$$1/n = 0,8506$$

Sehingga didapatkan model Freundlich sebagai berikut :

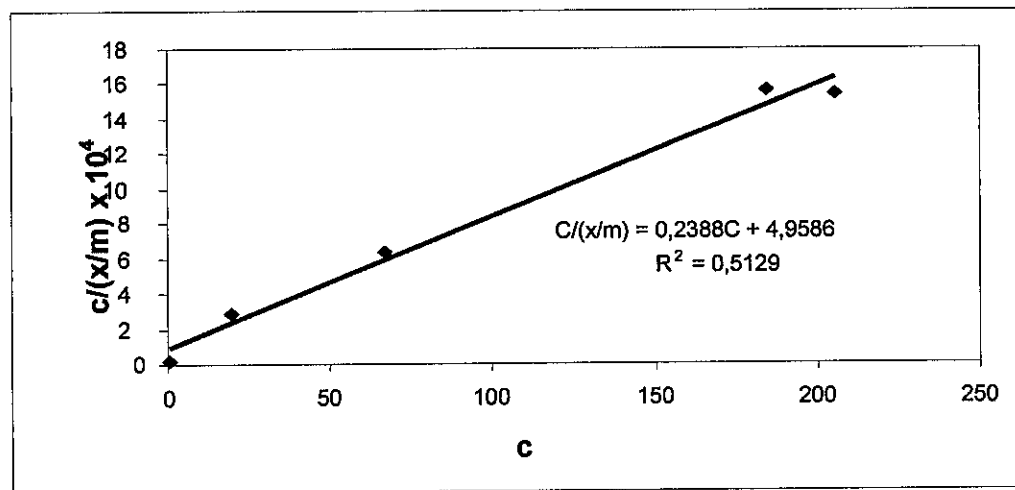
$$x/m = 0,019127C^{0,8506}$$

Persamaan ini menunjukkan perbandingan antara massa yang terjerap dengan massa penyerap sebanding dengan perkalian koefisien adsorpsi dengan konsentrasi setimbang dari cemaran. Kondisi ini dipertegas dengan adanya nilai korelasi sebesar 0,9232 yang menunjukkan tingkat signifikansi dari model, sehingga model tersebut bisa diterima sebagai model jerapan Cd^{2+} oleh eceng gondok pada batang.

Sedangkan dari perhitungan dengan menggunakan model Langmuir didapatkan persamaan regresi linear.

$$x/m = 0,20167C/(1+0,0482C)$$

Sesuai dengan gambar berikut :



Gambar 26 : Grafik Hubungan $C/(x/m)$ dan C Pemodelan Langmuir Jerapan Cd^{2+} oleh Batang Eceng Gondok

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa perbandingan massa yang terjerap dengan massa penyerap sebanding dengan konsentrasi maksimum zat yang terserap dalam fase padat. Persamaan regresi linear didapatkan

Konstanta model Langmuir dari persamaan tersebut :

$$x/m = 0,20167C/(1+0,0482C)$$

$$S_m = 4,184$$

$$b = 0,0482$$

Nilai korelasi dari persamaan tersebut adalah 0,5129 sehingga persamaan tersebut tidak bisa diterima sebagai model.

Mengingat tingkat signifikansi model Langmuir sangat kecil, maka dapat disimpulkan fenomena jerapan mengikuti model Freundlich.

4.5.3. Adsorpsi Daun Eceng Gondok

Hasil penelitian tentang akumulasi Cd^{2+} selama 16 hari pada daun eceng gondok disajikan pada tabel berikut;

Tabel 13. Akumulasi Cd^{2+} (mg) Selama 16 Hari Pada Daun Eceng Gondok Basis Kering

Konsentrasi CdSO_4 Waktu (hari)	0 ppm	135 ppm	180 ppm	320 ppm	560 ppm	750 ppm
0	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297
8	0,297	0,526	2,351	3,503	4,403	4,655
16	0,297	0,900	2,768	5,023	7,174	9,716

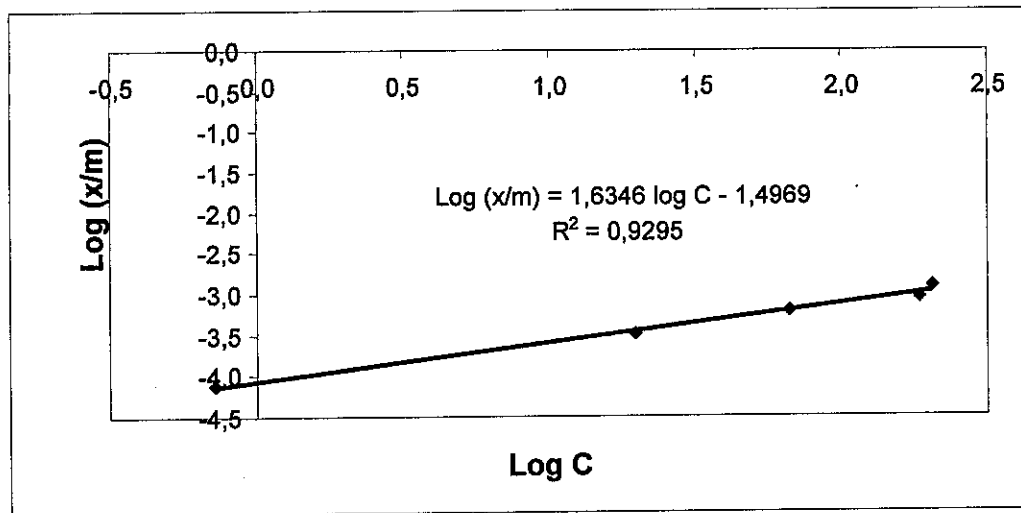
Hasil Perhitungan jerapan akar terhadap Cd^{2+} akan tampak seperti dalam tabel berikut ini

Tabel 14. Perhitungan Model Adsorpsi Linier Freundlich dan Langmuir Jerapan cemaran Cd^{2+} oleh Daun Eceng Gondok

C (mg)	x (mg)	m(mg)	x/m
0,724	0,603	7710	0,000
19,774	2,471	7710	0,000
66,73	4,726	7710	0,001
184,62	6,877	7710	0,001
205,43	9,418	7710	0,001

Perhitungan secara lengkap lihat lampiran 18

Sesuai dengan gambar berikut :



Gambar 27 : Grafik Hubungan Log (x/m) dan Log C Pemodelan Freundlich Jerapan Cd^{2+} oleh daun Eceng Gondok

Dari grafik di atas didapatkan model jerapan Cd^{2+} mengikuti persamaan regresi linear

$$\text{Log } x/m = 1,6346 \log C - 1,4969$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai – nilai model Freundlich sebagai berikut :

$$k = 0,0003628$$

$$1/n = 1,6346$$

Sehingga didapatkan model Freundlich sebagai berikut :

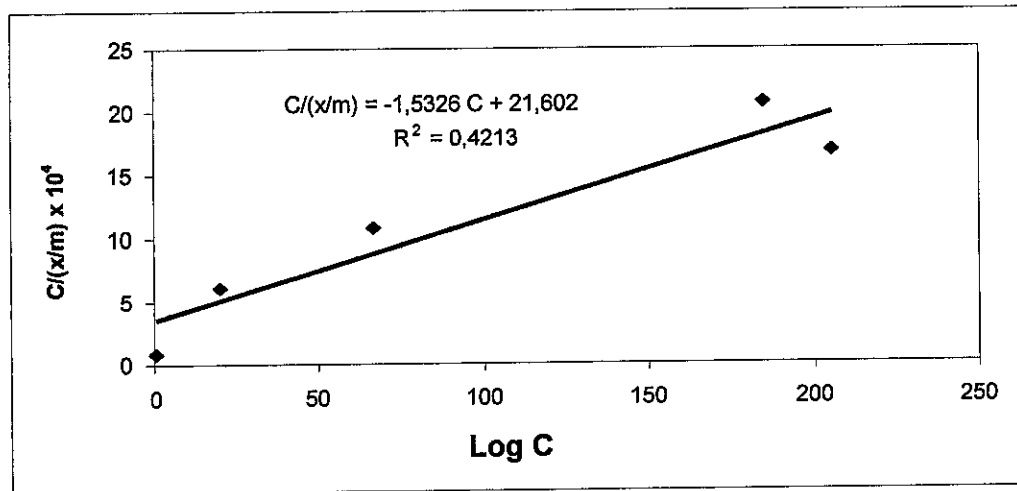
$$x/m = 0,0003628C^{1,6346}$$

Persamaan ini menunjukkan perbandingan antara massa yang terjerap dengan massa penjerap sebanding dengan perkalian koefisien adsorpsi dengan konsentrasi setimbang dari cemaran. Kondisi ini dipertegas dengan adanya nilai korelasi sebesar 0,9295 yang menunjukkan tingkat signifikansi dari model, sehingga model tersebut bisa diterima sebagai model jerapan Cd^{2+} oleh eceng gondok pada daun.

Sedangkan dari perhitungan dengan menggunakan model Langmuir didapatkan persamaan regresi linear.

$$X/m = 0,04629C/(1-0,07095C)$$

Sesuai dengan gambar berikut :



Gambar 28 : Grafik Hubungan C (x/m) dan C Pemodelan Langmuir Jerapan Cd²⁺ oleh Daun Eceng Gondok

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa perbandingan massa yang terjerap dengan massa penjerap sebanding dengan konsentrasi maksimum zat yang terjerap dalam fase padat. Persamaan regresi linear didapatkan

$$X/m = 0,04629C/(1-0,07095C)$$

Konstanta model Langmuir dari persamaan tersebut :

$$S_m = -0,652$$

$$b = -0,07095$$

Nilai korelasi dari persamaan tersebut adalah 0,4213 sehingga persamaan tersebut tidak bisa diterima sebagai model.

Mengingat tingkat signifikansi model Langmuir sangat kecil, maka dapat disimpulkan fenomena jerapan mengikuti model Freundlich.

4.6. Model Jerapan Cd^{2+} Oleh Eceng Gondok

Tabel 15. Akumulasi Cd^{2+} pada Eceng Gondok Basis Kering

Akar (mg)	Batang (mg)	Daun (mg)	Akumulasi pada eceng gondok (mg)
8,511	2,994	0,603	12,108
16,723	5,7589	2,4713	24,9532
17,241	8,753	4,726	30,72
31,273	9,796	6,877	47,946
53,679	11,098	9,418	74,195

Berat kering eceng gondok : 28,05 gram

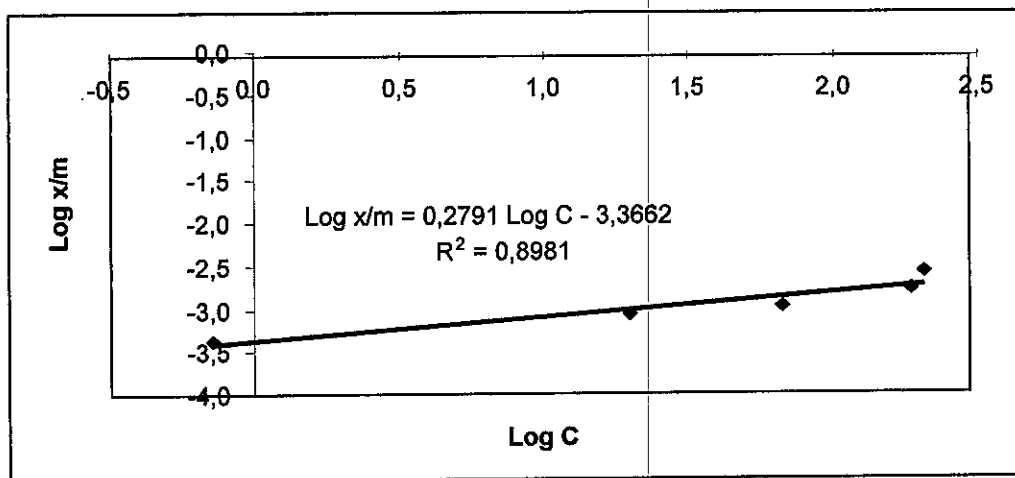
Tabel 16. Konsentrasi Cd^{2+} pada Air Uji Setelah Perlakuan Eceng Gondok 16 hari

Cd^{2+} di Air	
Sebelum Perlakuan Eceng Gondok (mg)	Setelah Perlakuan Eceng Gondok (mg)
14,655	0,724
46,55	19,774
99,273	66,73
234,389	184,62
281,448	205,43

Tabel 17. Data Cd^{2+} dan berat kering Eceng Gondok setelah 16 hari Perlakuan

C (mg)	x (mg)	m(mg)	x/m
0,724	12,108	28050	0,000
19,774	24,953	28050	0,001
66,73	30,720	28050	0,001
184,62	47,946	28050	0,002
205,43	74,195	28050	0,003

Perhitungan secara lengkap lihat lampiran 19



Gambar 29 : Grafik hubungan log (x/m) dan log C pemodelan Freundlich Jerapan Cd^{2+} oleh eceng gondok

Dari grafik di atas di dapatkan model jerapan Cd^{2+} mengikuti persamaan

$$\text{linier } \log x/m = 0,2791 \log C - 3,3662$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai-nilai model Freundlich sebagai berikut :

$$k = 0,00028018$$

$$1/n = 0,2791$$

sehingga didapatkan model Freundlich sebagai berikut :

$$x/m = 0,00028018 C^{0,2791}$$

Dimana :

C = konsentrasi Cd di air pada hari ke 16

x = Cd^{2+} yang terjerap pada eceng gondok

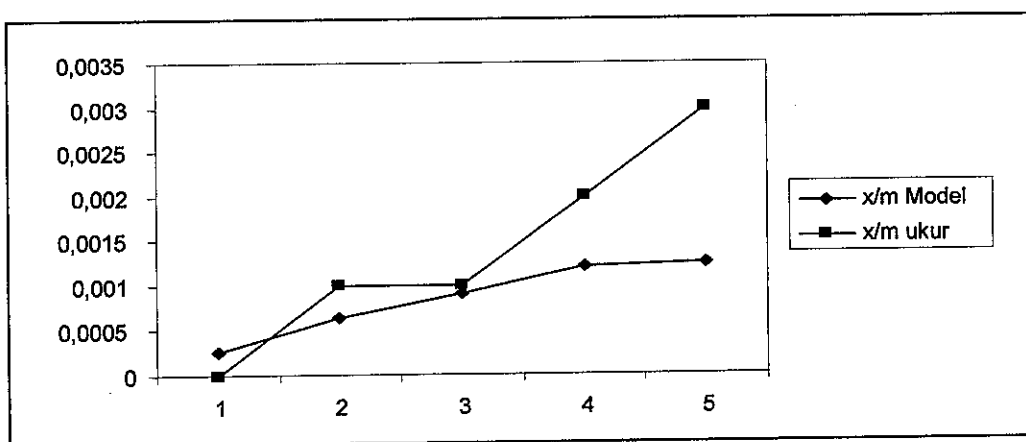
m = berat kering eceng gondok

Persamaan tersebut menunjukkan perbandingan antara masa yang terjerap dengan masa penjerap sebanding dengan perkalian koefisien adsorpsi dengan konsentrasi setimbang dari cemaran. Kondisi ini dipertegas dengan adanya nilai

korelasi sebesar 0,8981 yang menunjukkan tingkat signifikansi model, sehingga model tersebut bisa diterima sebagai model jerapan Cd^{2+} oleh eceng gondok.

Tabel 18 : Koreksi Penyimpangan Model Freundlich Jerapan Cd^{2+} pada Eceng Gondok

C (mg)	k	$C^{0,2791}$	x/m hitung	x/m ukur	(x/m ukur-x/m hitung) / Ukur	
0,724	0,00028018	0,913803956	0,00025603	0	-1	0,35%
19,774	0,00028018	2,300064332	0,000644432	0,001	0,551754044	
66,73	0,00028018	3,229743449	0,00090491	0,001	0,10508286	
184,62	0,00028018	4,290603653	0,001202141	0,002	0,663697893	
205,43	0,00028018	4,420429668	0,001238516	0,003	1,42225376	



Gambar 30 : Grafik Penyimpangan Model Freundlich Jerapan Cd^{2+} pada Eceng Gondok (x/m Model dan x/m Hasil Pengukuran)

Berdasarkan hasil analisis ternyata fenomena jerapan Cd^{2+} oleh eceng gondok mengikuti Model Freundlich dengan nilai korelasi sebesar 0,8981 dan tingkat penyimpangan model sebesar 0,35 %. Model Freundlich menunjukkan adsorpsi senyawa Cd dalam keadaan isothermal. Pada saat kontaminan kontak dengan adsorben (eceng gondok) maka terjadilah fenomena adsorpsi pada molekul-molekul kontaminan (Cd). Molekul-molekul Cd mengalami adsorpsi

karena adanya adsorben (eceng gondok), dan proses ini akan segera diikuti dengan proses absorpsi oleh eceng gondok, yaitu oleh bulu-bulu akar pada eceng gondok. Kontaminan (ion Cd^{2+}) mengalami adsorpsi/dijerap oleh bulu bulu akar eceng gondok dan masuk ke dalam akar bersama sama air melewati xylem sehingga sampai ke batang dan daun. Namun ada pula ion Cd^{2+} yang tidak dapat sampai ke daun melainkan hanya sampai di akar yaitu bagi senyawa toksik yang mengalami transport bersama air dengan melalui sistem transport di luar pembuluh pengangkutan atau dikenal dengan transport *ekstrasikuler*. Sistem transport yang demikian ini berlangsung melalui ruang antar sel (tidak melalui xilem) sehingga begitu air dan ion Cd akan memasuki batang terhalang oleh suatu lapisan yang tidak bisa ditembus air yaitu *pita kaspary*. Dengan adanya *pita kaspary* yang tidak dapat ditembus air ini maka senyawa toksik seperti ion Cd^{2+} akan dilokalisasi di akar. Fenomena ini ditunjang dengan kemampuan akar itu sendiri yang memiliki kemampuan untuk *melokalisasi* ion toksik. Disamping itu akar memang merupakan bagian tanaman yang mempunyai toleransi yang tinggi terhadap ion toksik dibandingkan ujung tanaman. Hal ini sejalan dengan pendapat Fitter dan Hay (1991) bahwa lokalisasi ekstra seluler, biasanya terjadi di akar, ion toksik non esensiil terutama Fe dan Cd disimpan di akar; sekali ion toksik melintasi *plasmolema* maka ion akan menyebar merata ke bagian atas tanaman. Maka sangat wajar bila pada hasil penelitian ini akumulasi ion Cd^{2+} terbesar prosentasenya ada di akar eceng gondok. Hal ini didukung oleh persamaan pada model yang didapat bahwa konstanta akar paling kecil, namun massa akar paling besar sehingga akan mengakibatkan akumulasi yang besar pula.

Model Freundlich yang diperoleh dapat diaplikasikan di lapangan, misalkan di suatu perairan tercemar logam berat Cd dengan konsentrasi (C_o ppm) akan diturunkan menjadi (C_e ppm) sebagai standart baku mutu, maka sejumlah (X gram) eceng gondok harus ditanam agar perairan tersebut konsentrasi Cd nya di bawah nilai ambang batas sesuai standart baku mutu yang telah ditetapkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1. Kesimpulan

1. Derajat toksisitas Cd (LC 50-96 jam) terhadap ikan bandeng (*Chanos chanos* Forskal) dengan perlakuan eceng gondok dan tanpa perlakuan eceng gondok masing-masing sebesar 343,45 ppm dan 224,74 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa eceng gondok dapat menurunkan toksisitas Cd terhadap ikan bandeng sebesar 34,50%.
2. Kerusakan yang terjadi pada struktur mikroanatomi insang ikan bandeng terdiri dari kerusakan tingkat 1 (edema pada *lamella*) mengindikasikan bahwa telah terjadi kontaminasi tetapi belum ada pencemaran, kerusakan tingkat 2 (hiperplasia pada pangkal *lamella*), merupakan gejala pencemaran, kerusakan tingkat 3 (fusi dua *lamella*) mengindikasikan terjadinya pencemaran tingkat awal, kerusakan tingkat 4 (*hiperplasia* hampir pada seluruh *lamella sekundaria*), menandakan telah terjadi pencemaran dan kerusakan tingkat 5 (rusaknya atau hilangnya struktur *filamentum branchia*) mengindikasikan terjadinya pencemaran tingkat berat.
3. Besarnya konsentrasi Cd berpengaruh terhadap mortalitas ikan bandeng, semakin tinggi konsentrasi Cd semakin tinggi pula mortalitas ikan bandeng.
4. Berdasarkan akumulasi Cd^{2+} di akar, batang dan daun ternyata akar mengakumulasi Cd^{2+} paling banyak (70%) kemudian batang (16%) dan daun (14%). Model persamaan konsentrasi jerapan Cd^{2+} pada akar, batang dan daun

serta pada eceng gondok secara keseluruhan mengikuti model Freundlich sebagai berikut :

$$\text{Akar} \quad : x/m = 0,01557 C^{1,0777}$$

$$\text{Batang} \quad : x/m = 0,019127 C^{0,8506}$$

$$\text{Daun} \quad : x/m = 0,0003628 C^{1,6346}$$

$$\text{dan eceng gondok} : x/m = 0,00028018 C^{0,2791}$$

Model dapat menggambarkan dengan baik dengan penyimpangan rerata model 0,35 %.

5.2. Rekomendasi

Pembersihan limbah secara fitoremediasi sebagaimana dalam penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan di lapangan dalam upaya pembersihan polutan logam berat kadmium dan logam berat pada umumnya, sehingga perairan payau dan perairan pada umumnya terbebas dari pencemaran, dengan biaya yang relatif murah yaitu menggunakan eceng gondok. Selain itu kajian mengenai kelainan struktur mikroanatomi insang sebagai indikator tingkat pencemaran diharapkan dapat dijadikan sebagai sumber informasi yang bermanfaat dalam mengkaji efek toksik Cd terhadap kerusakan struktur mikroanatomi *branchia* ikan bandeng sebagai indikator pencemaran. Pengaruh konsentrasi Cd terhadap tingkat mortalitas ikan bandeng diharapkan dapat dijadikan sebagai sumber informasi yang dapat membantu bila akan mengkaji efek toksik Cd terhadap mortalitas ikan bandeng; sedangkan model jerapan pada eceng gondok diharapkan dapat dijadikan model yang dapat diaplikasikan di lapangan dalam menentukan/memperkirakan berapa banyak eceng

gondok yang mesti dipakai/ ditanam bila suatu limbah Cd akan diturunkan sampai pada nilai batas ambang sesuai baku mutu dengan cara fitoremediasi.

Eceng gondok yang sudah digunakan sebagai biofilter/fitoremediasi jangan digunakan sebagai pakan ternak mengingat akar, batang dan daun mengakumulasi senyawa toksik Cd^{2+} . Bila digunakan sebagai pakan ternak tentu akan mengakibatkan terjadinya keracunan pada ternak yang tersebut mengingat sifat Cd yang bioakumulatif. Selain itu Cd juga bersifat biomagnifikasi melalui rantai makanan. Cd juga bersifat toksik dan karsinogenik yang potensial menimbulkan kanker/kelainan pertumbuhan sel-sel jaringan.

Eceng gondok yang sudah mengabsorpsi Cd^{2+} hendaknya digunakan saja sebagai bahan baku untuk industri kerajinan (tas, dompet, ikat pinggang, topi, dll) serta untuk bahan furniture (meja, kursi).

DAFTAR PUSTAKA

- Alabaster, J.S. and R. Lloyd, 1982. *Water Quality Criteria for Freshwater Fish*, FAO and Butterworth Scientific, London. P. 22-251.
- Anonymous, 1972. *Biology A Functional Approach*, The Ronald Press Company, New York, United States and Canada. P. 132-134.
- Anonymous, 1983. *Pedoman Umum Pengujian Laboratorium Toksisitas Letal Pesrisida pada Ikan untuk Keperluan Pendaftaran*, DEPTAN RI.
- Anonymous, 1997. *Undang-Undang Republik Indonesia No. 23 Tahun 1997 Tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Kantor Menteri Negara Pengawasan Pembangunan dan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Andrew, w., 1959. *Textbook of Comparative Histology*. Oxford University Press, New York, p. 301-308.
- Arena, J.M. 1974. *Poisoning Toxicology Symptom and Treatments*. 3 rd. Charles C. Thomas Publisher, Spring Field. Illionis, USA. 226-227.
- Armil, K.D. 1987. *Environmental Chemistry*. Wiley Eastern Limited New Delhi p. 1957-158.
- Babich, H., and G. Stotzky. 1983. Influence of chemich;al speciation on the toxicity of heavy metals to the mikrobiota. Dalam J.O. Nriagu (eds.). *Aquatic Toxicology*. A Wiley Interscience Publication, New York. P. 1-46.
- Bernard, A. and Lauwerys. 1984. *Cadmium in Human Population*. Experientia 40, Birkhauser Verlag CH-4010 Bazel/Switzerland. p. 143-151.
- Berman, E. 1980. *Toxic Metals and Their Analysis*. Heyden, London. p. 65-73.
- Boyd, C.E. 1979. *Water Quality in Warm Water Fish Ponds*. Auburn University, Alabama. P. 359
- Boyd, C.E. and F. Lichkoppler. 1986. *Water Quality Management in Pond Fish Culture*. Auburn University, Alabama. P. 1-21.
- Boudou, A., D.G. Scauld., and J.P. Desmazes. 1983. Ecotoxicological role of the membran barrier in transport and bioaccumulation of mercury compound. Dalam. J.O. Nriagu (eds.). *Aquatic Toxicology*. John Wiley and Sons, New p. 117-152.

- Clarke, E.G.C. and M.L. Clarke. 1978. *Veterinary Toxicology*. The English Language Book Society and Bailliera Tindall, London p. 49.
- Coleridge. S.T., 1977. "Water, do you lose if you use it" in *Introduction to Environmental Science*. P.W. Foster and R.H. Hermanson (eds) Learning System Co. Division of Richard D. Irin Inc., Home Word Illionis. P. 234-260.
- Connell, Des W. 1995. *Bioakumulasi Senyawaan Xenabiotic*. UI Press, Jakarta. Hal 5-75, 146-211.
- Debackere, M. 1983. Environmental Pollution: The Animal as Source, Indicator and Transmitter. In *Veterinary Pharmacology and Toxicology*. Y. Ruckebusch (eds). MTP. Press Limited, Boston, The Hague, Dordrecht, Lancaster. P. 603-604.
- Dix. H.M. 1981. *Environmental Pollution*. John Wiley and Sons, New York. P. 3-180.
- Djuraming, (1988). *Penentuan Toksisitas Air Limbah Pabrik Gula Bone terhadap Ikan Cyprinus carpio L dan Penurunan Toksisitasnya dengan Air Asi dan Penanaman Eceng Gondok*. Gadjah Mada university, Yogyakarta.
- Duffus, J.H. 1980. *Environmental Toxicology*. John Wiley and Sons, New York. P. 73
- Durham, W.F. 1975. "Toxicology" in N.I. Sax (ed.). *Dangerous Property of Industrial Material*. Van Nostrand Rein and Company, New York. p. 289.
- Dreisbach, R.H. 1983. *Hand Book of Poisoning*. eleven edition. Lange Medical Publication, California. p. 274.
- Falahi and Ardakani 1984. *Contamination Of Environment With Heavy Metals Emitted From Automotives*. Ecotox. And Env. Safety, 8 : 152-154.
- Finney. 1983. *Probit Analisis*, Cambridge at the University Press.
- Fitter, A. H dan Hay R.K.M., *Fisiology Lingkungan Tanaman*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hadie, W. dan Supriatna, J. 1986. *Teknik Budidaya Bandeng*. Bhratara Karya Aksara, Jakarta. p. 3
- Hammond, P.B. and R.P. Beliles. 1980. *Metals In Toxicology The Basic Science of Poisons*. (Casarett). 2nd ed. Mc Millan Publishing Co. Inc., New York. P. 428-435.

- Hasim. 2003. *Eceng Gondok Pembersih Polutan Logam Berat*. Artikel: <http://www.kompas> dalam www.google.com.
- Hellawell, J.M. 1989. *Biological Indicators of Freshwater Pollution And Environmental Management*. Elsevier Applied Science. London and New York. Hal. 58-76.
- Howland, J.L. 1975. *Environmental Cell Biology*. W.A. benjamin, Inc. California
- Hughes, G.M. and K. Nyhlom, 1978. *Ventilation in Rainbbow trout (salmo gairdneri, Richardson) with Damaged Gills*, J. Fish Biol. Vol. 14, p. 285-288.
- Hutton, M. 1983. *Source of Cadmium in The Environment*. Ecotox. and Env. Safety, 7:924
- Kariada N, 2001. *Bioakumulasi Logam Berat Cd Pada Ikan Lunjar (Rasbora argyrotaenia), Wader (Barbodes balleroides) dan Nilem (Osteochillus hasseltii) di Kaligarang Semarang*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Koeman, J.H. 1987. *Pengantar Umum Toksikologi Lingkungan*. Terjemahan oleh dr. R.H. Yudono. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. P. 10-41.
- Lagler, K.E., J.E. Bardach, R.R. Miller and D.R. Maypassino, 1997, *Ichthyology*. Second Edition John Wiley and Sons, New York. p. 128-259.
- Lakitan, 1993. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Edisi I. Cetakan I PT Rajawali Grafindo Persada, Jakarta.
- Lauren P. 1984. *The role of Environmental calcium relative to sodium chloride in determining gill morphology of soft water trout and catfish*, Academic Press. Inc.
- Leidy, R.B. 1980. Aquatic Organism in.F.E. Guthrie and J.J. Perry (ed.). *Introduction to Environmental Toxicology*. Elsevier. New York. p. 120-132.
- Lusianty S.W., 1977. *Eceng Gondok Sebagai Penyerap Pencemar*. Seameo Regional Center for Tropical Biology BIOTROP, Bogor Indonesia.
- Laws, E.A. 1993. *Aquatic Pollutan, An Introductory Text*. John Wiley and Sons Inc. London.
- Mason, C.F. 1981. *Biology of Freshwater Pollution Longman Inc.*, New York, p. 38-78.

- Mailman, R.B. 1980. Heavy metals. In. F.E. Guthrie and J.J. Perry (ed). *Introduction to Environmental Toxicology*. Elsevier North Holland, Inc. New York. p. 34-42.
- Miller, G.T. 1975. Living in The Environment, concepts. *Problem and Alternative*. Belmont, California.
- Mitrovic, V.V. 1972. Sublethal effects of pollution of fish. in. M. Ruivo (ed.). *Marine Pollution and Sea life*. Fishing New (Books) Ltd. Surrey, England. p.252-254.
- Moenandir dan Murgito. 1992. *Pencemaran air oleh logam berat dan hubungannya dengan eceng gondok*, Rawa Pening. Biotrop (247) : 41-47. Jurnal Penelitian www.warintek.edu.id dalam www.Google.com.
- Moekasan dan T. Koestoni. 1985. *Analisis Probit*. Lembang: Balai Penelitian Holtikultura Lembang.
- Neis, U. 1989. *Manfaatkan Air Limbah*. Yayasan Obor Indoanesia. Jakarta. P. 194-218.
- Orth, H. 1989. "Kolam Eceng Gondok (Hyacinthus Air) Untuk Membersihkan Air Limbah Industri" dalam U. Neis (eds.) *Memfaatkan Air Limbah*. Yayasan Obor Indoanesia, Jakarta. P. 194-218.
- Padmawinata, K. 1986 (ed.) *Toksikologi Umum*. Pengantar Gadjah Mada University Press.
- Priyanto, B. 2002. *Menyerap Logam Berat dengan Tanaman Air*. Artikel : <http://www.mediaindo.co.id> dalam www.google.com.
- Greenberg A.E. 1981. *Standard Method for the Examination of Water and Waste Water*. Fifteenth edition. APHA, Washington.p. 683-871.
- Rand, G.M. 1980. *Detection Bioassay*, in F.E. Guthrie and J.J. Perry (ed). *Introduction to Environmental Toxicology*. Elsevier, New York.p.245-247.
- Radiopoetro et. al. 1986. *Zoologi*. Penerbit Erlangga, Jakarta. P. 428-472.
- Ravera, O. 1984. *Cadmium in Freshwater Ecosystems*. Experientia 40, Birkhauser Verlag, CH-4010, Basel/Switzerland. P. 2-12.
- Rich, L.G. 1992, *Environmental System Engineering*, Mc.Graw-Hill. Kogakusha Ltd. New York.
- Salisbury, F. and C. Ross, 1992. *Plant Physiology*, Wadsworth Publishing Company, Belmont, California.

- Sanusi, Harpasis Slamet. 1985. Akumulasi Logam Berat Hg dan Cd Pada Tubuh Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forskal). *Tesis*. Fakultas Pasca Sarjana IPB. Bogor.
- Soemarwoto, O. 1983. *Ekologi Lingkungan Hidup dan Pembangunan*. Jambatan, Bandung. p. 145-148.
- Soepomo, T.H.W. 1975. *Pengelolaan Kualitas Air*. Proyek Peningkatan Mutu Perguruan Tinggi, IPB. Bogor p.38.
- Steel, R.G.O. and James H. Torrie. 1980. *Principles and Procedure of Statistics*. A Biometrical Approach. Second edition. Mc. Graw-Hill, Kogakusha Ltd., Tokyo. p.633.
- Storer, T.I. and R.K. Usinger. 1957. *Elements of Zoology*. 2nd ed., Mc. Graw-Hill Book Company Inc. New York. p. 366-368.
- Sulistiyowati, 1993. *Toksisitas Logam Berat CdCl₂ Pada Kondisi Perairan Aasam Terhadap Ikan Mas (Cyrpnus carpio L.)*, UGM Yogyakarta.
- Swingle, H.S. 1986. *Standardization of Chemical Analysis for Water and Pond Muds*. F.A.O., Fish. p. 397-400.
- Tan, K.H. 1982. *Kimia Tanah*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Tandjung, S.D. 1982. *The Acute Toxicity and Histopathology of Brook Trout (Salvelinus fontinalis Mitchell) Exposed to Aluminium in Acid Water*. Dissertation for The Degree of Doctor of Philosophy, Departement of Biological Science, Luis Calder Conservation and Ecology Study Center, Fordam University. New York. p. 161-169.
- Tandjung, H.S.D. 1983. *Penentuan Toksisitas Suatu Bahan Pencemar Lingkungan Perairan*. Kursus Analisis Dampak Lingkungan I, Mei 1983. Pusat Studi Lingkungan UGM, Yogyakarta. p.1-10.
- Tandjung, H.S.D., Susilo Handari Sunoro dan Tjut Sugandawaty Djohan. 1980. *Beberapa Efek Pencemaran Panas Terhadap Kehidupan Air Tawar*. Lembaga Penelitian UGM. Yogyakarta.
- Titiresmi, 2002. *Menyerap Logam Berat dengan Tanaman Air*. Jakarta, <http://www.google.com> dalam www.mediaindo.co.id.
- Uhlmann, D. 1979. *Hydrology*. A Text for Engineer and Scientist. John Wiley and Sons, Toronto. p. 129.
- Wagner, R.H. 1971. *Man Environment*. W.W. Norton and Company, Inc. New York

- Walverton, B.J. and McDonald, R.J., 1979. *Water Hyacinth and Alligator for Removal of Lead and Mercury From Polluted Water*, NASA Tech, Memorandum, T.M-X-72723.
- Ward, F.J. 1982. *Laboratory Study of The Accumulation and Distribution of Cd in the Sidney Rock Oyster Saccostrea Commercialis*. Aust. J. Mar. Fresh. Wat. Res. 33 : 33-34.
- Widowati H, 2000. *Peranan Tumbuhan Air Sebagai Bioremidator Pencemaran Akibat Kegiatan Industri Batik*. Tesis Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Widyanto, L. S. dan H suselo., 1977. *Pencemaran air oleh logam berat dan hubungannya dengan eceng gondok*, Rawa Pening. Biotrop (247) : 41 – 47. *Jurnal Penelitian* www.warintek.edu.id dalam www.Google.com
- Woolhouse, H.W. 1983. Toxicity and Tolerance in The Responses of Plant to Metals. In *Encyclopedia of Plant Physiology*, New Series Vol. 12C Ed:A Pirson and M.H. Zimmermann. Gottingen. p.274-283.